

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

**Využití alternativních zdrojů energie pro
napájení mobilních senzorů**

The Use of Alternative Energy Sources to Power
Mobile Sensors

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Zadání bakalářské práce

Student: **Zuzana Almásyová**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3901R039 Biomedicínský technik
Téma: Využití alternativních zdrojů energie pro napájení mobilních senzorů
The Use of Alternative Energy Sources to Power Mobile Sensors

Zásady pro vypracování:

1. Seznámení se s problematikou mobilních senzorů.
2. Seznámení se s problematikou obnovitelných zdrojů energie.
3. Seznámení se s možnostmi využití bez bateriových senzorů v biotelemetrii.
4. Návrh generátoru pro napájení bio-telemetrických senzorů.
5. Experimentální ověření navrženého řešení.
6. Zhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] SPIES, Peter. *Handbook of energy harvesting power supplies and applications*. Singapore London: Pan Stanford Eurospan distributor, 2011. ISBN 978-9814241861.
- [2] LAI, Daniel T., Rezaul BEGG and Marimuthu PALANISWAMI. *Healthcare sensor networks : challenges toward practical implementation*. Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis Group, 2012. 448 s. ISBN 978-1439821817.
- [3] DARGIE, Waltenegus and Christian POELLABAUER. *Fundamentals of wireless sensor networks theory and practice*. Chichester, West Sussex, U.K. Hoboken, NJ: Wiley, 2010. 311 s. ISBN 978-0470997659.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. David Vala**

Datum zadání: 16.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2014

doc. Ing. Jiří Koziolek, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně. Uvedla jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala.

Datum: 4.5.2014

Podpis: *alena sýrová*

Poděkování

Chtěla bych poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Davidu Valovi za odborné vedení, cenné rady a věcné připomínky při zpracovávání této bakalářské práce.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá možnostmi využití alternativních zdrojů energie pro napájení mobilních biomedicínských senzorů s malým příkonem. Z celé řady dostupných obnovitelných zdrojů, které jsou v práci rovněž stručně zmíněny, byla vybrána pro potřeby předpokládané cílové oblasti využití zdroje právě solární energie, přesněji fotovoltaického jevu pro získání energie k napájení cílového zařízení. Za tímto účelem práce adaptuje techniku tzv. „Energy Harvestingu“ neboli „sklizení energie“ pro vytvoření požadovaného malého autonomního generátoru. V práci jsou využity dva způsoby ukládání energie. U prvního způsobu uložení energie se jedná o přímou konverzi, není zde obvod řídící nabíjení kondenzátoru, u druhého způsobu dochází k akumulaci. K realizaci prototypu byly vybrány dva čipy, které nejlépe vyhovovali kritériím. Hlavní výhodou obou čipů je možnost začít pracovat již od 0,25 V. V hlavní části se práce zabývá realizací generátoru pro napájení biotelemetrických senzorů. Oba způsoby ukládání energie jsou proměřeny a porovnány. Vytvořený generátor je vhodný, i při malém osvětlení.

Klíčová slova

Senzor, sklizeň energie, alternativní zdroje, solární energie

Abstract

The Bachelor thesis deals with the possibility of using alternative sources of energy as a power supply for mobile biomedical sensors with low power consumption. From the wide range of renewable sources, which are also briefly described, solar energy was chosen, and more specifically the photovoltaic effect for harvesting energy to supply the target device. For this purpose, the thesis adapts technique called „Energy Harvesting“, which creates desired small autonomous generator. In the work are described two methods of energy storage. The first way to keep energy is a direct conversion this means there is no accumulation of energy. In the second one there is a controlling circuit which manages charging of the capacitor. For the realization of the prototype were selected two chips that suit best for the criteria. The main advantage of both chips is the ability to start work from 0.25 V. In the main part, the work deals with the realization of the generator to power biotelemetry sensors. Both ways of storing energy are measured and compared. Created generator is suitable to use, even at low lighting.

Key Words

Sensor, Energy Harvesting, Alternative Sources, Solar Energy

Seznam použitých zkratk a symbolů

Fe	Železo
Cu	Měď
Pt	Platina
Rh	Rhodium
ČSN	Československá Norma
Hz	Hertz
Nz	Počet Závítů
Nm	Nano Metr
kWh	Kilowatt hodina
WLAN	Wireless Local Area Network
WPAN	Wireless Personal Area Network
WMAN	Širokopásmový bezdrátový přístup
WRAN	Wireless Regional Area Network
PDA	Personal Digital Assistant
ISM	Industrial, Scientific and Medical
WiFi	Wireless Fidelity
AP	Access Point
DC	Stejnoseměrný Proud
nA	Nano Ampér
DPS	Deska Plošného Spoje
P_i	Instalovaný Výkon
P_p	Špičkový Výkon
P_{cr}	Průměrný celoroční výkon
I_{SHORT}	Zkratový Proud
Φ	Magnetický Tok

Obsah

1. ÚVOD	1
2. SENZORY A JEJICH ROZDĚLENÍ	2
2.1. ROZDĚLENÍ SENZORŮ	3
2.1.1. Generátorové senzory	4
2.1.1.1. Termoelektrický článek	4
2.1.1.2. Piezoelektrický jev	4
2.1.1.3. Indukční senzory	5
2.1.2. Senzory tlaku	5
2.1.3. Senzory tlaku s optickými vlákny	6
2.1.4. Senzory tepelných veličin	7
2.1.4.1. Kontaktní měření tělesné teploty	7
2.1.4.2. Bezkontaktní měření tělesné teploty	7
3. OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE	8
3.1. DRUHY OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ	9
3.2. SKLÍZENÍ ENERGIE, NEBOLI „ENERGY HARVESTING“	10
4. BEZDRÁTOVÉ KOMUNIKAČNÍ ROZHRANÍ	12
4.1. BLUETOOTH	12
4.1.1. Topologie Bluetooth	13
4.1.2. Specifikace Bluetooth	14
4.2. ZIGBEE	14
4.2.1. Topologie ZigBee	14
4.2.2. Specifikace ZigBee	15
4.3. WIFI	16
4.3.1. Konfigurace WiFi sítě	17
5. NÁVRH ŘEŠENÍ	18
5.1. ČIP LTC3105	18
5.1.1. Blokové schéma čipu LTC3105	19
5.1.2. Použité vzorce	20
5.2. ČIP BQ25570	21
5.2.1. Blokové schéma čipu BQ25570	22
5.2.2. Použité vzorce	23
5.3. POROVNÁNÍ ČIPŮ	25
6. REALIZACE	26

6.1.	VÝPOČTY ČIPŮ	26
6.1.1.	Výpočty použité při realizaci obvodu LTC3105	26
6.1.2.	Výpočty použité při realizaci obvodu BQ25570	27
6.1.3.	Výpočet energie kondenzátoru	27
6.2.	MĚŘÍCÍ OBVOD.....	28
6.2.1.	Měřicí obvod LTC3105	28
6.2.2.	Měřicí obvod BQ25570.....	29
6.3.	REALIZACE DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ	29
7.	MĚŘENÍ	30
7.1.	MĚŘENÍ LTC3105	30
7.2.	MĚŘENÍ BQ25570	32
7.3.	MĚŘENÍ SOLÁRNÍHO PANELU.....	35
8.	ZÁVĚR.....	37
	LITERATURA	38
	SEZNAM PŘÍLOH	40

1. Úvod

Bakalářská práce se zabývá využitím alternativních zdrojů energie pro napájení mobilních senzorů. Alternativní zdroje energie jsou v současné době velkým „trendem“. Technologie sice není moc vyspělá, ale to by se mělo do budoucna změnit, protože jsou šetrné k životnímu prostředí, nejsou závislé na chemických zdrojích. Evropská unie naléhá na vyšší využívání obnovitelných zdrojů energie. 31. března 2005 byl vydán zákon o podpoře využívání obnovitelných zdrojů. Většina obnovitelných zdrojů má původ ve slunečním záření. Podle statistik je dáno, že za jednu hodinu dopadne na Zem přibližně stejně solární energie, kolik činí spotřeba primárních zdrojů na Zemi za rok. Sluneční energie jako jediná z obnovitelných zdrojů má téměř neomezený potenciál. Obnovitelné zdroje energie mají výhodu, že při jejich vyčerpání se dokáží během určitého časového horizontu znova obnovit. Výhodou mobilních senzorů je jejich snadná instalace při, které není potřeba využití napájecích kabelů. Z biomedicínského hlediska je proces „Energy Harvesting“ vhodný tam, kde je vyžadován dlouhodobý bezúdržbový provoz autonomního (např. bezdrátového) senzoru. Bakalářská práce je zaměřena na napájení senzorů s malým příkonem.

V teoretické části bakalářské práce je rozebrána problematika senzorů, jejich rozdělení a druhy senzorů. Dále je popsán princip „sklizení energie“ v obecném blokovém schématu a rozebrání problematiky alternativních zdrojů energie, jejich druhů a způsobů ukládání energie. V poslední kapitole teoretické části je stručně popsána problematika bezdrátové technologie, která byla použita při stanovení energetické náročnosti bezdrátových senzorů.

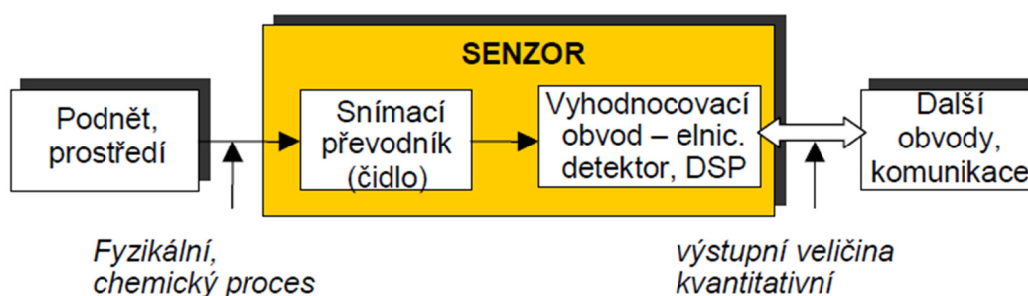
V experimentální části bakalářské práce je provedena realizace generátoru pro napájení biotelemetrických senzorů. Po průzkumu trhu byly vybrány dva čipy, které nejlépe splňovali zadané podmínky. Jejich výhodou je nízké vstupní napětí, díky tomu jsou oba schopny začít pracovat i při nepříznivém osvětlení v případě aplikací se solárními články. Po vytvoření obou generátorů na desce plošného spoje je provedeno pro každý obvod několik měření voltampérové charakteristiky, účinností, nabíjení a vybíjení superkapacitoru. V posledním bodu experimentální části bylo provedeno měření výkonové charakteristiky solárního článku na přímém slunci, v zastínění na slunci a ve stínu. Všechny výsledky byly zaznamenány do tabulek, grafů a obrázků, které jsou umístěny v práci nebo přílohách.

2. Senzory a jejich rozdělení

Název senzor pochází z latinského slova *senzus*. Z technického hlediska může být senzor vnímán jako prostředek k rozšíření informací o fyzikálních veličinách. Je to v podstatě vstupní část měřicího řetězce, který je ve styku s měřeným prostředím. Pojem senzor je totožný s pojmem snímač, převodník, nebo detektor.

Pojem snímač není z mechanického hlediska správný, protože nevyznačuje podstatu děje, snímač nic nesnímá ani nezachycuje. Senzor snímá biologickou, chemickou nebo fyzikální veličinu, následně ji podle zaručeného principu přeměňuje na měřicí elektrickou veličinu. Existují i senzory, v kterých je neelektrická veličina přeměňována přímo na číslicový signál.

Senzor je definován, jako zařízení reagující na subjekt, stav prostředí – měřenou veličinu a převádějící ji na výslednou odezvu nebo informaci – výstupní veličinu. Citlivá část senzoru je označována jako čidlo a snímá stav sledované veličiny a následně zpracovává vyhodnocovací obvod senzoru. Dalšími řídicími obvody zpracujeme kvantitativní elektrický signál, který bude výstupní informací z vyhodnocovacího obvodu. U ultrazvukových měničů je nutné zmínit také pojem senzorová pole, které jsou složené z podobných nebo stejných funkcí a struktur. Nemělo by se zapomenout na polovodičové senzory, které tvoří významnou skupinu, především mikroelektronické senzory. [1]



Obr. 1: Měřicí řetězec senzoru [1]

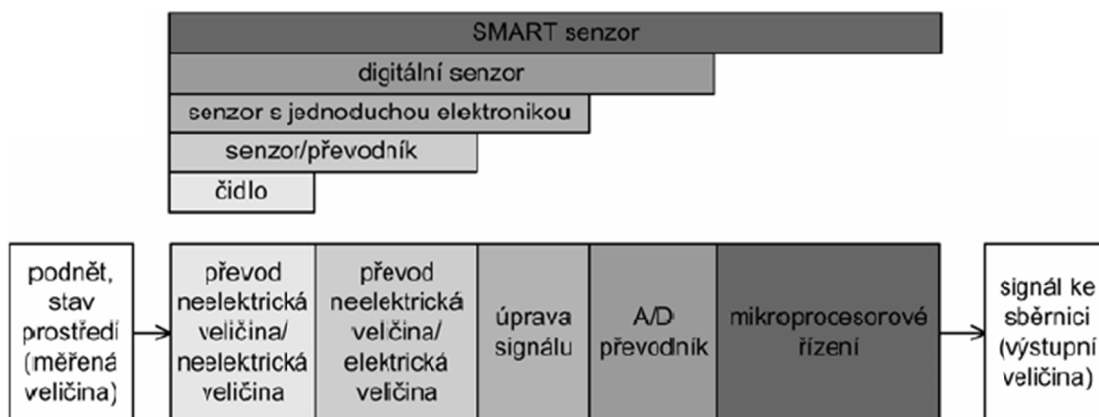
Vývoj se zaměřuje na jednočipové inteligentní senzory, SMART senzory. Jedná se o zařízení, které má uvnitř jak citlivou část tj. čidlo, tak i obvody pro úpravu, komunikaci a převod s dalšími zařízeními. Intelligence u senzorů tohoto typu, není stejně vymezená. Dá se říci, že za inteligentní senzor můžeme určit i senzor s citlivou částí oddělenou od mikroelektronické části, vzdálenost od čidla musí být minimální a tím bude tvořit s čidlem funkčně, elektricky a mechanicky uzavřený celek.

SMART senzory, dělíme na tři části:

Vstupní část – Ve vstupní části se koná převod veličiny biologické, chemické nebo fyzikální na veličinu elektrickou. Kromě toho i u ochrany proti nežádoucím rušivým vlivům, linearizace statické charakteristiky, přepínání více vstupních veličin, normování signálu, zesílení a filtrace signálu aj.

Vnitřní část – Ve vnitřní části slouží senzor k analogově číslicovému převodu, řízení přepínání měřících rozsahů, autodiagnostice, hlídání mezí, číslicové linearizaci, autokalibraci elektrické a neelektrické části, statickému vyhodnocování měřených dat registrace mezivýsledků až po umělou inteligenci, senzor je schopen rozpoznat jsou-li data věrohodná, aj.

Výstupní část - Výstupní část funguje při komunikaci senzoru s okolím díky sběrnici prostřednictvím integrovaného rozhraní. [2]



Obr. 2: Stavba senzorů podle složitosti. [2]

2.1. Rozdělení senzorů

Nejjednodušeji můžeme senzory rozdělit dle typu napájení na pasivní a aktivní. Aktivní senzor se chová jako zdroj elektrické energie, pokud na něj působí snímaná veličina. Může se tak dít u senzorů, které jsou na převodu indukčním, piezoelektrickém a termoelektrickém. Naopak pasivní senzor je senzor, u kterého musíme elektrickou veličinu (Odpor, kapacita, indukce) převádět na proudový, napěťový nebo analogový signál. Měřicí veličiny jsou fáze, kmitočet, amplituda. Rozdíl mezi pasivním a aktivním senzorem je v napájení. U pasivních senzorů je napájení potřebné u aktivních senzorů nikoliv.

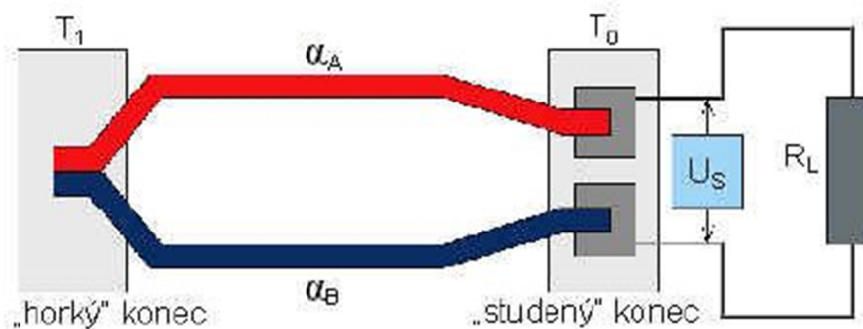
Jinak můžeme obecně senzory a i senzory biosignálů dělit podle několika aspektů. Např. můžeme senzory rozdělit podle metody měření, vstupní fyzikální veličiny, dále můžeme senzory dělit podle styku s měřeným prostředím, nebo podle výrobní technologie, aj. [2]

2.1.1. Generátorové senzory

Jedná se o senzory, které se při působení elektrické energie chovají jako zdroje elektrické energie. Jsou to senzory pracující na principu převodu termoelektrickém, piezoelektrickém a indukčním.

2.1.1.1. Termoelektrický článek

Termoelektrický článek tvoří horký a studený konec o teplotách T_1 a T_0 . Dochází k vodivému spojení dvou různých vodivých materiálů α_A , α_B .



Obr. 3: Termoelektrický článek [3]

Tab. 1: Normalizované termoelektrická články, jejich rozsah a napětí [3]

Typ	Materiály	Rozsah [°C]	U_t [$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$]
E	Chromel / Konstantan	-200 ÷ +900	70
J	Fe / Konstantan	-200 ÷ +750	56
K	Chromel / Alumel	-50 ÷ +1250	41
R	Pt / Pt+Rh	0 ÷ +1450	11
S	Pt / Pt+Rh	0 ÷ +1450	6
T	Cu / Konstantan	-200 ÷ +350	42

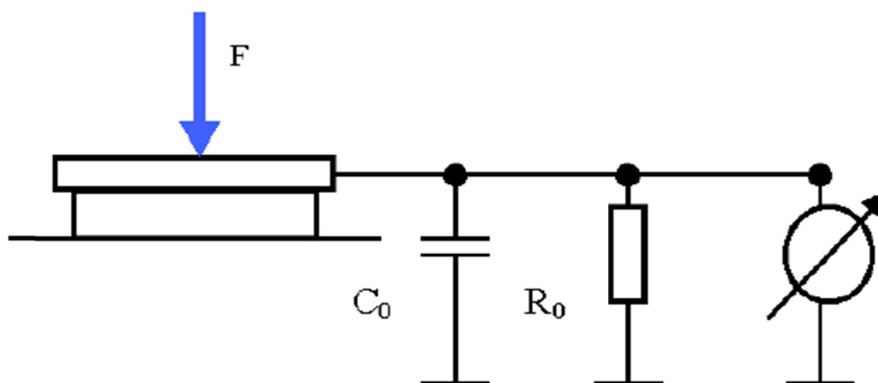
Charakteristická přesnost termočlánku se pohybuje kolem $\pm 1^\circ\text{C}$. V tabulce jsou pouze vybrané hodnoty napětí, hodnoty v celém teplotním rozsahu i s aproximačním polynomem, můžeme nalézt v normách ČSN.

2.1.1.2. Piezoelektrický jev

Jedná se o fyzikální jev, při kterém mechanická deformace krystalu, některých krystalických dielektrických látek způsobí dipólový elektrický moment objemového elementu. Polarizace krystalů zapřičiňují elektrické momenty všech objemových elementů. Hodnota polarizace je totožná s vymyšleným vázaným nábojem na jednotkové ploše povrchu. Povrch je kolmý ke směru polarizace vektoru.

Piezoelektrické senzory - Kapacita C_0 je dána geometrickou kapacitou mezi polepy výbrusu. Odpor R_0 je volný odpor výbrusu. Náhradní schéma by při polarizaci výbrusu mělo obsahovat pouze C_0 a R_0 , nebude-li brát zřetel na vlastní sériovou rezonanci.

Piezoelektrické snímače se používají do kmitočtu 105 Hz, kmitočet musí být nižší než vlastní kmitočet výbrusu.



Obr. 4: Schéma piezoelektrického senzoru [3]

2.1.1.3. Indukční senzory

Charakteristické pro indukční senzory je přeměna měřené neelektrické veličiny na změnu magnetického toku Φ obvodu. Neelektrická veličina vyvolá ve snímací cívce indukované napětí.

$$u = -Nz \frac{d\Phi}{dt} \quad (2.1)$$

Ve vzorci Nz označuje počet závitů cívky a zlomek $d\Phi/dt$ je derivací magnetického toku podle času. Neelektrická veličina může při pravidelném toku střídat počet závitů cívky, které jsou vázány s magnetickým tokem, nebo může také působit na rychlost změny magnetického toku. Indukční senzory můžeme dále dělit na elektrodynamické a elektromagnetické. [3]

2.1.2. Senzory tlaku

Krevní tlak je dobrým indikátorem zjištění celkového stavu kardiovaskulárního systému, díky tomu je z daných biologických parametrů nejčastěji snímaným. Krevní tlak kolísá s činností srdce od maximálního tlaku při systole komor, jež se nazývá tlak systolický, po nejnižší tlak při diastole srdečních komor, což se nazývá diastolický tlak.

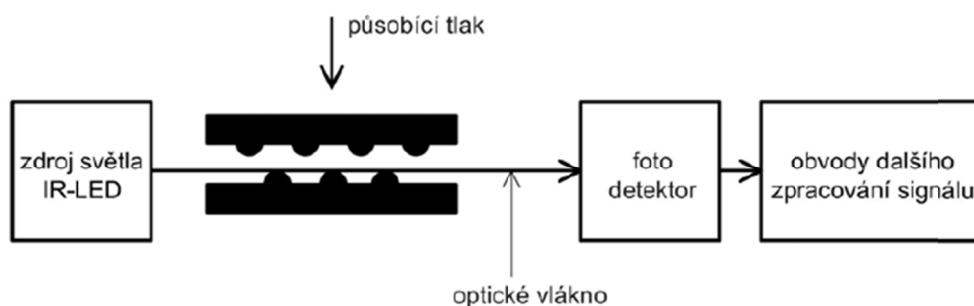
Podle místa, kde krevní tlak měříme, jej rozlišujeme na centrální a periferní, arteriální a venózní. Centrální tlak se měří v srdečních komorách, periferní v končetinách, centrální tlak se dá změřit pouze invazivně.

Nejčastější metoda měření tlaku je metoda neinvazivní. Na levou horní paži umístíme manžetu, protože zde se hodnoty arteriálního tlaku nejvíce přibližují tlaku centrálnímu. Podle místa

a způsobu měření tlaku zvolíme konstrukci senzoru. Senzory pro neinvazivní měření krevního tlaku a senzory pro invazivní měření krevního tlaku. [2]

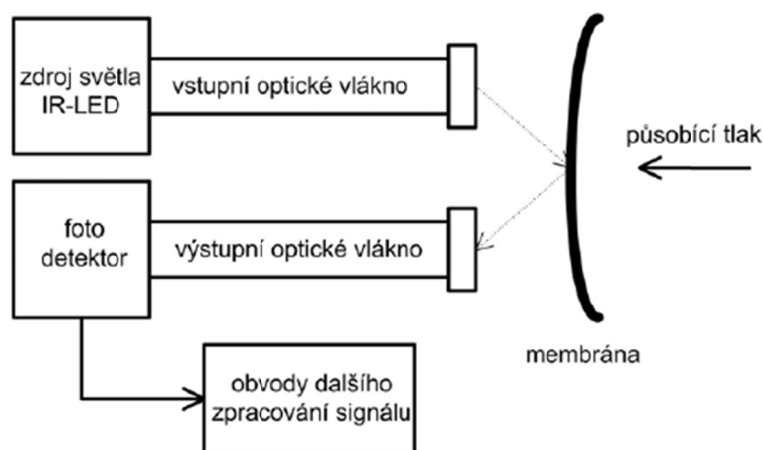
2.1.3. Senzory tlaku s optickými vlákny

Jedná se o zvláštní skupinu senzorů. Senzory jsou reálné třeba pro osobní váhy. Snímání tlaku se rozděluje na dva způsoby.



Obr. 5: Schéma senzoru tlaku s optickým mikroválknem [2]

Na obrázku vidíme blokové schéma senzoru tlaku, kde se využívá deformace optického mikroválkna. Na začátku můžeme vidět zdroj světla. Tím je infračervené záření o vlnové délce 860 nm. Deformaci vznikají mikro ohyby ve vlákne, tím pádem dochází ke sníženému záření v neformovatelném vlákne, fotodetektozem se zaznamenávají všechny změny snížení záření se změnami tlaku.



Obr. 6: Schéma senzoru tlaku s optickým mikroválknem [2]

Druhý způsob senzoru tlaku s reflexní membránou funguje podobně jako předešlý. Jak vidíme z obrázku 6, světelné záření je vedeno pomocí optického vlákna k polarizátoru, který má za funkci nasměrování paprsku na membránu, která je tvořena z reflexního materiálu. Působí-li tlakové změny na membránu, tak tím dochází ke změnám intenzity záření dopadajícího na polarizátor výstupního optického vlákna.

Stejně jako u předchozího způsobu i zde fotodetektor zaznamenává a snímá všechny změny snížení záření. Tyto změny jsou přivedeny na elektrický signál.

Díky vysoké citlivosti a rychlé odezvě mohou být senzory tlaku s optickými vlákny využity jako nejlepší alternativa vedle klasických senzorů, pro snímání tlaku.

2.1.4. Senzory tepelných veličin

Do této kategorie především patří senzory ke změření tělesné teploty. Jedná se o nejstarší diagnostickou metodu ve zdravotnictví. V nynější době se měření tělesné teploty rozděluje na kontaktní a bezkontaktní.

2.1.4.1. Kontaktní měření tělesné teploty

U kontaktní metody měření se přístroj k měření, tedy teploměr přímo dotýká tkáně, kde teplotu měříme. Přímým kontaktem se teplota z tkáně přenáší na senzor. Kontaktní měření provádíme poblíž velkých arterií, nejčastěji se jedná o místo v podpaží, dutině ústní a konečníku. Ne tak často teplotu měříme přes jícen či pochvu. K měření používáme klasické rtuťové nebo elektronické teploměry. V budoucnu by měli rtuťové teploměry vymizet, neboť obsahují toxickou látku a měření s nimi je časově náročné.

2.1.4.2. Bezkontaktní měření tělesné teploty

U bezkontaktních metod, přenos tepla z tkáně na teploměr probíhá přes okolní prostředí. Tato metoda využívá infračerveného záření. Vše, jež jeho teplota je větší než nula může být zdrojem záření. Do této skupiny patří ušní teploměry, které změří tělesnou teplotu přes ušní bubínek během vteřiny. [2]

3. Obnovitelné zdroje energie

Definice obnovitelných zdrojů dle zákona o životním prostředí udává: „Obnovitelné přírodní zdroje mají schopnost se při postupném spotřebovávání částečně nebo úplně obnovovat, a to sami nebo za přispění člověka.“. [4]

Obnovitelné zdroje energie mají od neobnovitelných zdrojů energie velkou výhodu v tom, že jsou takřka nevyčerpatelné, a když dojde k jejich vyčerpání, tak se dokáží během krátkého časového intervalu přírodními procesy obnovit. [5]

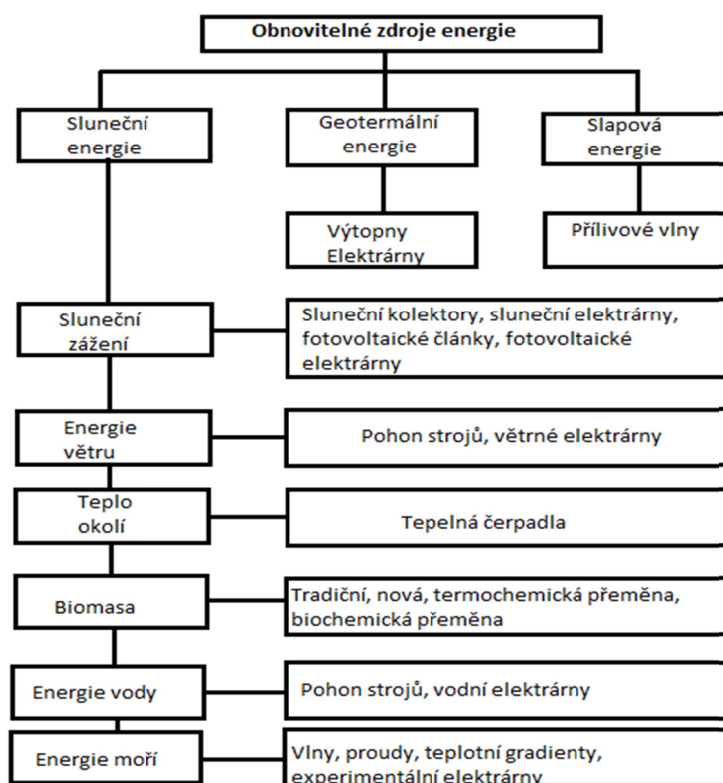
Využití obnovitelných zdrojů energie je podmíněno několika rysy, např. malou plošnou koncentrací, proměnlivá intenzita, nestejně rozložené územní rozložení a finanční náklady.

Pro posouzení energetického potenciálu obnovitelných zdrojů energie se používá instalovaný výkon P_i . Vzhledem na výše určené rysy je nutné posouzení rozšířit o další parametry.

- instalovaný výkon P_i [W]
- špičkový výkon P_p [W_p]
- průměrný celoroční výkon P_{cr} [W]
- součinitel využití K

$$K = \frac{W_r}{P_i \times 8760} \quad (3.1)$$

Součinitel K charakterizuje využití produktu v průběhu roku, je určen u energie W_r [kWh.r⁻¹] vyprodukované za rok. [4]



Obr. 7: Rozdělení obnovitelných zdrojů [4]

3.1. Druhy obnovitelných zdrojů

Vznik obnovitelných zdrojů energie se rozděluje do tří základních skupin.

- sluneční záření
- gravitační síly Slunce a Měsíce
- geotermální energie Země

V praxi je několik dalších technologií, ze kterých lze získávat obnovitelné zdroje energie.[5]

- Solární energie – Jde o základní obnovitelný zdroj. Mnoho obnovitelných zdrojů vznikají z energie Slunce. Solární energii můžeme za pomoci solárních, termických a fotovoltaických kolektorů přeměnit na elektřinu nebo teplo.

Využití solární energie je ovlivňováno dobou slunečního záření, podle statistik je sluneční záření v České republice v průměru 1300 – 1800 hodin za rok. V další řadě je využití ovlivňováno intenzitou slunečního záření, kde podle statistik se v Tuzemsku průměrná intenzita slunečního záření pohybuje v rozmezí 950 – 1340 kWh na m²/rok.

- Větrná energie – Větrná energie vzniká při nerovnoměrném ohřívání Země, to způsobuje rozdíly tlaku v atmosféře a ty vyrovnávají proudění vzduchu. Jedná se o formu solární energie. V nynější době je větrná energie využívána zejména k výrobě elektřiny. Z pravidla jsou dva druhy větrných elektráren:

- systémy dodávající elektřinu do rozvodné sítě GRID – ON
- systémy nezávislé na rozvodní síti GRIND – OF

Nejdůležitějším faktorem při využití větrné energie je rychlost větru. V místě postavení větrné elektrárny by měl foukat vítr průměrnou rychlostí 5m/s. V České republice je vhodné větrné elektrárny stavět v horských oblastech. Dle statistik by 3 – 4% roční spotřebované energie mohlo být pokryto elektřinou z větrných elektráren.

- Vodní energie – Ke vzniku vodní energie dochází při koloběhu vody na Zemi, působením sluneční energie a gravitační síly Země. K výrobě elektřiny ve vodních elektrárnách je potřebné proudění vody (kinetická energie) a tlaku (potenciální energie), nebo společné působení veličin.

Vodní elektrárny rozlišujeme podle výkonu, který jsou schopné dát na:

- Velké vodní elektrárny – V současné době jsou jedním z největších zdrojů elektřiny, co se týče obnovitelných zdrojů.
- Malé vodní elektrárny – V Evropské unii se malá vodní elektrárna považuje do 5MW, České republice do 10MW. V dnešní době je na našem území více než 500 malých vodních elektráren, jejich stavba je finančně náročná.

- Energie biomasy – Jedná se o hmotu rostlinného a živočišného původu. Její energie má původ ve slunečním záření z tohoto důvodu bývá označována jako obnovitelný zdroj energie. Pěstovaná rostlinná biomasa se využívá pro energetické účely. Energii z biomasy můžeme získat chemickými, nebo bio-chemickými procesy. Základní technologií je

spalování, to doplňují další technologie. Jsou jimi pyrolýza, esterifikace, zplyňování, fermentace, zkapalňování, kvašení, lisování, atd.

- Geodermální energie a energie prostředí - Geodermální energie se využívá v základní formě pro vytápění. Také může být tato energie v geotermálních elektrárnách přeměněna na elektrickou energii. Je to tepelná energie jádra Země. Geodermální elektrárny pracují na principu mokré a suché páry, dále na horkovodním systému. V České republice je geodermální energie využita na vytápění. Projekty jsou ve fázi příprav.

Do obnovitelných zdrojů energie se zařazují i energie prostředí (vzduch, půda, voda), lze je využít za pomoci tepelného čerpadla. Tepelná čerpadla bývají nedílnou součástí teplovzdušného vytápění, klimatizace a ústředního vytápění. Tepelné čerpadlo spotřebovává třetinu a čtvrtinu dodané energie. [6]

3.2. Sklizení energie, neboli „ENERGY HARVESTING“

Jde o samostatný proces, který umožňuje zachycovat a ukládat energii z okolí. V mé práci se proces uskutečňuje pomocí malého autonomního zařízení. Energii lze odebírat z různých zdrojů. V mé práci se zaměřím na odběr energie ze slunečního záření. Technologie není ještě příliš vyspělá, ale má velký potenciál do budoucna. Je sice finančně náročná, ale to by se mohlo s postupem času a hlavně rozšířením technologie změnit. Je také šetrná k životnímu prostředí, protože není závislá na chemických zdrojích, které jsou vyčerpatelné. Technologie je snadná na údržbu a není při ní potřeba napájecích kabelů. Nevýhodou technologie je závislost na dostupnosti zdrojů, zde se klade velký důraz na výkon a jak už bylo zmíněno zatím je technologie finančně náročná.

Sklizení energie můžeme využít v různých aplikacích. Bezdrátové senzory se používají od detekce a sledování nepřítelů, přes sledování a měření vibrací u velkých konstrukcí pro vzdálené sledování a dohled. Z biomedicínského hlediska je technika vhodná všude tam, kde je možné senzor nějak napájet např. při pohybu.

V následující tabulce jsou zaznamenány nejběžnější energetické zdroje, spolu s jejich účinnostmi a výkony. Po analýze problematiky své bakalářské práce jsem se rozhodla využít světlo jako zdroj energie, protože je nezávislé na měření objektu. Člověk se nemusí pohybovat, aby vznikla energie. [7]

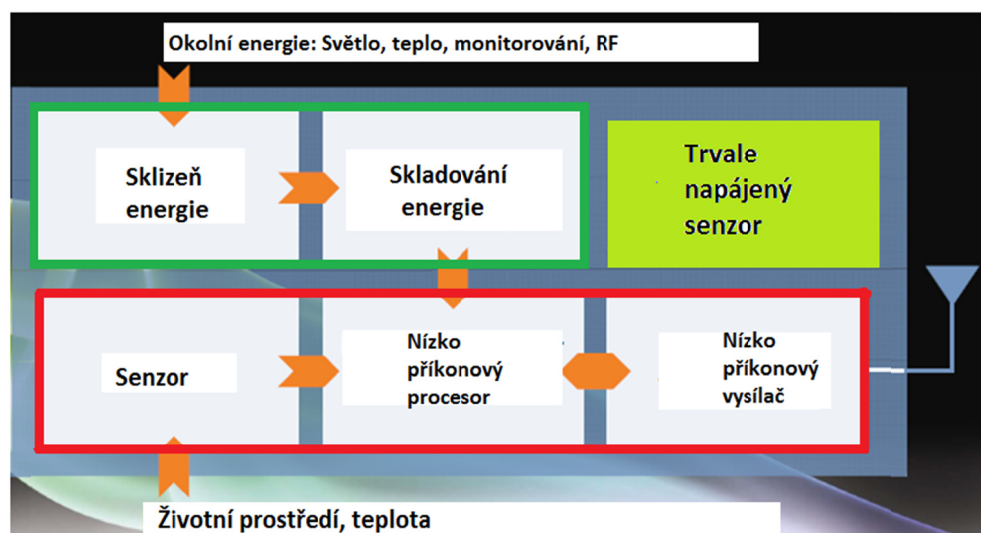
Tab. 2: Elektromagnetické vlny používané pro přenos.[7]

Energetický zdroj	Charakteristika	Účinnost	Získaná energie
SVĚTLO	Venkovní	10-24%	10 mW/cm ²
	Vnitřní		100 μW/cm ²
TEPLO	Člověk	0,1%	60 μW/cm ²
	Průmysl	3%	1-10 mW/cm ²
VIBRACE	Hz-Člověk	25 -50%	4 μW/cm ³
	kHz-Stroje		800 μW/cm ³
RF	GSM 900 MHZ	50%	0,1 μcm ²
	WIFI		0,001 μW/cm ²

V následujícím obrázku je znázorněno obecné blokové schéma sklizení energie, kde jsou využity její principy. Schéma se skládá z několika funkčních bloků, které jsou vzájemně propojené. Principiálně můžeme schéma rozdělit na část energii, která je napájena přes okolní energie, jako je světlo, teplo, monitorování, rádiové frekvence a část senzorů.

V bakalářské práci kladu důraz na skladování energie, kterou budu odebírat ze světla. Pro správné stanovení množství potřebné energie se musí klást důraz na senzorovou část.

Některé senzory můžeme nastavit tak, abychom dbali na úsporu energie. Senzor se aktivuje jen v určité časové době, této části se říká část aktivní, je velmi krátká. [7]



Obr. 8: Blokové schéma sklizení energie [7]

4. Bezdrátové komunikační rozhraní

O bezdrátový přenos informací se starají také elektromagnetické přenosové cesty pomocí elektromagnetických vln, které jsou při přenosu využívány. Přenosová cesta je tvořena základními prvky. Jimiž jsou vysílač, vysílací anténa, přijímací anténa a přijímač.

Bezdrátové přenosové cesty se dají taky označit jako „*Množství vyjádřené energie za jednotku času závisí na rychlosti změny proudu obvodu vysílače*“

K vyzařování dochází jen u střídavých proudů. Pro využití v praxi mají význam jen proudy s vyšší frekvencí než kHz. Pokud je vyzařovací frekvence menší než kHz, tak je vyzařování zanedbatelné. [8]

Tab. 3: Elektromagnetické vlny používané pro přenos [8]

Rádiové vlny	Délka vlny λ [m]	Kmitočtový rozsah [Hz]
Dlouhé vlny	>3000	10^5
Střední vlny	300 až 200	10^5 až $1,5 \cdot 10^5$
Krátké vlny	50 až 10	$1,5 \cdot 10^5$ až $30 \cdot 10^6$
Velmi krátké vlny		
Metrové vlny	10 až 1	$30 \cdot 10^6$ až $300 \cdot 10^6$
Decimetrové vlny	1 až 0,1	$300 \cdot 10^6$ až $3 \cdot 10^9$
Centimetrové vlny	0,1 až 0,01	$3 \cdot 10^9$ až $30 \cdot 10^9$
Milimetrové vlny	0,01 až 0,001	$30 \cdot 10^9$ až $300 \cdot 10^9$

V tabulce můžeme vidět dělení elektromagnetických vln používaných pro přenos na vlnové délky podle frekvenčního rozsahu. Pravidelné nebo i nahodilé změny parametru prostředí ovlivní elektromagnetické vlny a způsobí jejich lom, odraz, ohyb nebo útlum. Přičemž lom a odraz vznikají při změně permitivity prostředí, ohyb a rozptyl vznikají na vodivých překážkách, podle srovnání rozměru překážky s délkou vlny. Mezi velmi krátké vlny značíme ty, jejichž vlnová délka je kratší než 100 m. Zaujímají dosti široké kmitočtové pásmo, proto je možné vytvořit bez vzájemného rušení velký počet kanálů. K přenosu nepotřebujeme velký výkon, antény mají malý rozměr, zařízení zabírají málo místa. [8]

4.1. Bluetooth

Jedná se o bezdrátové připojení zařízení mezi sebou na krátké vzdálenosti. Bluetooth technologii můžeme připojit mezi rozdílnými komunikačními zařízeními, kterými jsou počítače, mobilní telefony, televizory, PDA a jiné. Díky jeho dobrým vlastnostem se technologie bluetooth dostala i do průmyslu a zdravotnictví. Využívá se při přenosu informací v měřících systémech a k propojení senzorů. Technologie je typická svou malou velikostí, nízkou cenou, klade malé nároky na napájení, má jednoduché uživatelské rozhraní, pracuje na krátký dosah (10 až 100 m)

První verze Bluetooth 1.0 byla uveřejněna roku 1999, časem se technologie vylepšovala do verze 1.1, 1.2, 2.0, 3.0, nejnovější je verze 4.0 [8]

Tab. 4: Přehled přenosových rychlostí u Bluetooth [8]

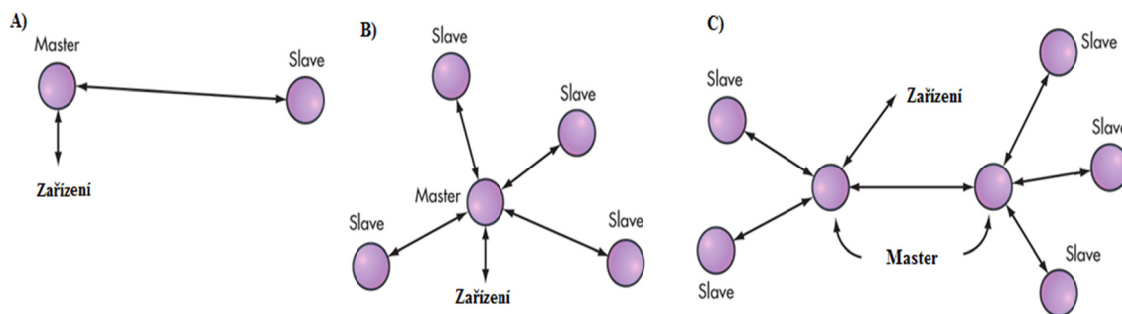
Verze	Rychlost přenosu dat	Maximální propustnost
1.2	1 Mbit/s	0,7 Mbít/s
2.0	3 Mbit/s	1,4 Mbít/s
3.0	24 Mbit/s	
4.0	24 Mbit/s	

4.1.1. Topologie Bluetooth

Bluetooth umožňuje buď komunikaci, mezi dvěma zařízeními (point-to-point), nebo komunikaci jednoho zařízení s více dalšími (point-to-multipoint).

Soustava dvou s více buněk, které komunikují mezi sebou je nazývána piconet. Jedna jednotka zastává řídicí funkci (master), zbylé jednotky jsou jednotky podřízené (slave). V jedné piconet buňce je jen jedna řídicí jednotka, naopak podřízených jednotek může být maximálně sedm.

Překrytí daných piconet buněk je nazýváno karnet, což znamená rozprostřená síť. Zařízení typu slave může fungovat ve dvou různých piconet sítích, jak v jednotkách slave, tak v jednotkách master, díky tomu vzniká spojení piconet buňky s dalšími. Nebo také může být zařízení v jedné piconet buňce typu master a ve druhé může být slave. Díky protokolu výzvy se master stará o celou komunikaci a slave komunikuje s ostatními jednotkami pomocí masteru. Master také přiděluje časové úseky dle dané potřeby komunikace. [8]



Obr. 9: Topologie Bluetooth sítě: A) Piconet (point-to-point), B) Piconet (point-to-multipoint), C) scatternet. [9]

4.1.2. Specifikace Bluetooth

Při komunikování pomocí Bluetooth je používáno frekvenční pásmo ISM. Pásmo je neomezeně a volně přístupné, využívá se ve zdravotnictví vědě, průmyslu.

Tab. 5: Výkonnostní třídy u Bluetooth [8]

Úroveň	Dosah sítě	Výstupní výkon
1 třída	~ 100 m	100 mW (20 dBm)
2 třída	~ 10 m	2,5 mW (4 dBm)
3 třída	~ 10 cm	1 mW (0 dBm)

Bluetooth pracuje v pásmu 2400 až 2483,5MHz, během sekundy je provedeno 1600 přeladění mezi 79 frekvencemi s odstupem 1 MHz.

Základní frekvence jsou dány vztahem:

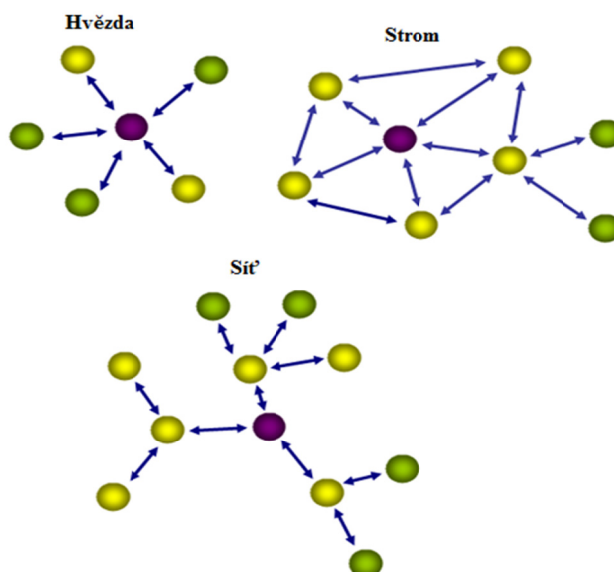
$$f_k = 2402 + k \text{ [MHz]} \quad (4.1)$$

4.2. ZigBee

Technologie ZigBee je schopna desítky metrů zprostředkovávat komunikaci mezi mnoha zařízeními. Předností technologie jsou nízké nároky na hardware a nízká spotřeba, díky tomu je používána v oblasti řízení budov a průmyslu u senzorů napájených pomocí baterie.

4.2.1. Topologie ZigBee

Při ZigBee technologii jsou podporovány technologie typu hvězda (star), strom (tree) a síť (mesh). Uzly dělíme na FFD, což jsou pevně funkční zařízení, která vykonávají funkce koordinátoru, směšovače, nebo koncového zařízení. Dále dělíme na RFD což jsou redukovaná zařízení, ta pracují jen jako koncová. ZigBee koordinátor řídí celou síť. V topologii hvězda dochází ke komunikaci koncových zařízení s koordinátorem. V topologiích strom a síť dochází k tomu, že koordinátor spouští komunikaci a také stanovuje parametry. [8]



Obr. 10: Topologie ZigBee sítě: Hvězda, strom, síť. [10]

4.2.2. Specifikace ZigBee

Stejně jako Bluetooth probíhá ZigBee na komunikačním pásmu ISM (Industrial, Scientific, Medical). Celosvětově funguje ZigBee na frekvenci 2400 až 2483,5 MHz. V Evropě je to 868 až 868,6 MHz a v Severní Americe a Austrálii 902 až 928 MHz. V těchto pásmech je celkem 27 ZigBee kanálů, které jsou využitelné.

Tab. 6 : Tabulka specifikací ZigBee [8]

Pásmo	Počet kanálů	Přenosová rychlost	Max. doba trvání
868 MHz	1	20 kbit/s	53,2 ms
915MHz	10	40 kbit/s	26,6 ms
2,4 GHz	16	250 kbit/s	4,25 ms

Komunikace ZigBee, sahá až do vzdálenosti 100 m. Jedním z nejdůležitějších faktorů ZigBee je nízká spotřeba. Ta je lehce dosažena využitím metody radiového přenosu v rozprostřeném spektru (DSSS), technologie Bluetooth využívá frekvenčních skoků (FHSS). Zařízení ZigBee může přejít i do hibernace. Tím se rozumí stav, kdy modul naslouchá, tím sníží spotřebu na 1 až 2 μ A, Bluetooth potřebuje 100 μ A. [8]

4.3. WiFi

Jedná se o jednu z nejvíce rozšířených technologií a v domácnostech je nejdostupnější. Signál technologie WiFi může pokrýt i několik set metrů od primárního zařízení. Označení WiFi je přiřazeno výrobkům, které pracují podle standardu 802.11 a/b/g/n. Momentálně existuje více variant sítí WiFi a stále se další vyvíjejí. Všechny sdílí stejný protokol, liší se pouze řešením fyzické vrstvy.

Standardů 802.11 existuje více druhů, v tabulce níže jsou uvedeny pouze základní. Všechna pásma uvedena v tabulce jsou bezlicenční, komunikaci proto můžeme provádět bez jakékoliv registrace a úplně zdarma. [8]

Tab. 7 : Rozdělení standard 802.11 [8]

Standard	Pásmo [GHz]	Přenosová rychlost [Mbit/s]
802.11	2,4	2
802.11a	5	54
802.11b	2,4	11
802.11g	2,4	54
802.11n	2,5 - 5	600

Dělení rádiových sítí na několik standard:

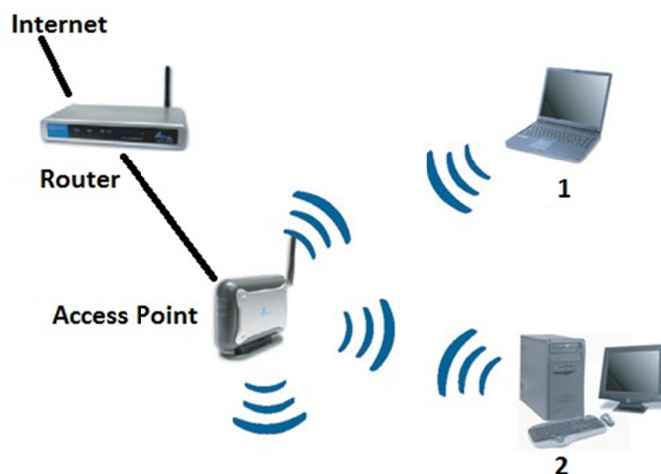
- IEEE 802.11 – Bezdrátové lokální síť WLAN (Wireless Local Area Network)
- IEEE 802.15 – Bezdrátové osobní síť WPAN (Wireless Personal Area Network)
- IEEE 802.16 – Širokopásmový bezdrátový přístup WMAN
- IEEE 802.22 – Bezdrátové regionální síť WRAN (Wireless Regional Area Network)

Tab. 8: Shrnutí povolených rádiových frekvencí. [8]

Region	Frekvenční rozsah[GHz]	Počet kanálů
USA	2,4 – 2,4835	79
Evropa	2,4 – 2,4825	79
Francie	2,4465 – 2,4835	27
Španělsko	2,445 – 2,475	35
Japonsko	2,471 – 2,497	23

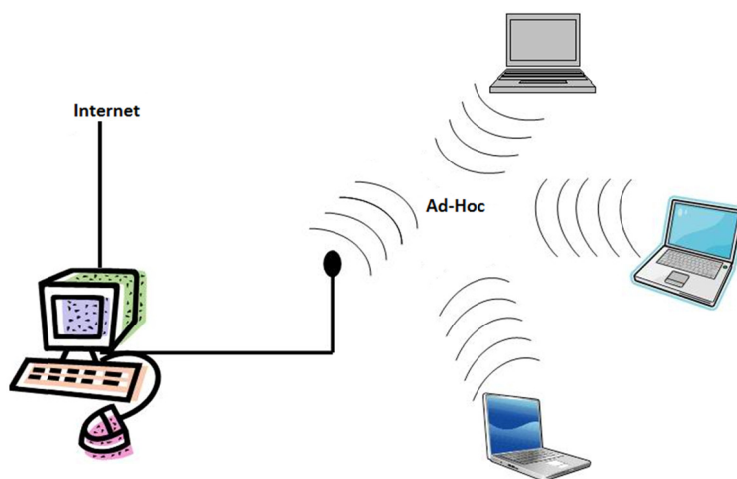
4.3.1. Konfigurace WiFi sítě

Konfiguraci dělíme na WiFi síť s distribučním centrem (Distribution System). Pomocí přístupového (AP – Access Point) komunikují stanice s distribučním centrem. AP řídí komunikaci WiFi, která jsou zapojena v infrastrukturním režimu. AP je možné použít jako připojení k internetu.



Obr. 11: Přenos dat pomocí AP. [11]

Další způsob vybudování sítě je Ad - Hoc. Mezi stanicemi dochází k přímé komunikaci. Síť je vytvořena jedním zařízením, toto zařízení ji pak dále spravuje a řídí. Do této vytvořené sítě se připojují další zařízení a dochází k vzájemné komunikaci. Není nutno přítomnosti přístupového bodů. Způsob konfigurace není vhodný pro rozsáhlé sítě, naopak je vhodný pro náhodná uspořádání. Nevýhodou je malý dosah sítě, záleží na vzdálenosti od zařízení, které vytvořilo síť. Spojení mohou existovat v řádech dnů až roků. [8]



Obr. 12: Přenos dat pomocí Ad - Hoc. [12]

5. Návrh řešení

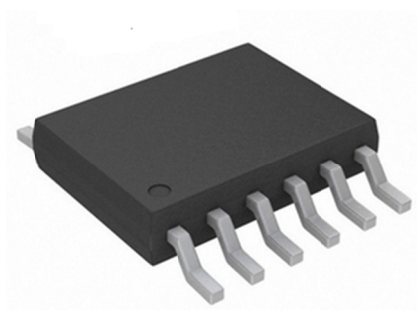
V praktické části jsem se nejdříve zabývala návrhem řešení bakalářské práce. Po průzkumu trhu byly vybrány dva čipy, které jsem se rozhodla otestovat a porovnat, protože nejlépe splňovali dané funkční požadavky.

První čip je od společnosti Linear Technology, který má označení LTC3105. Druhý testovaný čip je od společnosti Texas Instruments a má označení BQ25570. V následujících podkapitolách, bude popsána funkce čipů, blokové schéma každého čipu a vzorce, které bylo nutno použít, k zlepšení funkce obou čipů.

5.1. Čip LTC3105

Nejprve se zaměřím podrobněji na čip od společnosti Linear Technology. Čip LTC3105 byl prvním testovacím čipem. Po průzkumu trhu jsem zjistila, že nejlépe vyhovuje daným požadavkům. Jedná se o jednočipové řešení, k získání energie z okolního prostředí, v případě mé práce se jedná o sluneční energii, kterou získávám pomocí solárních článků.

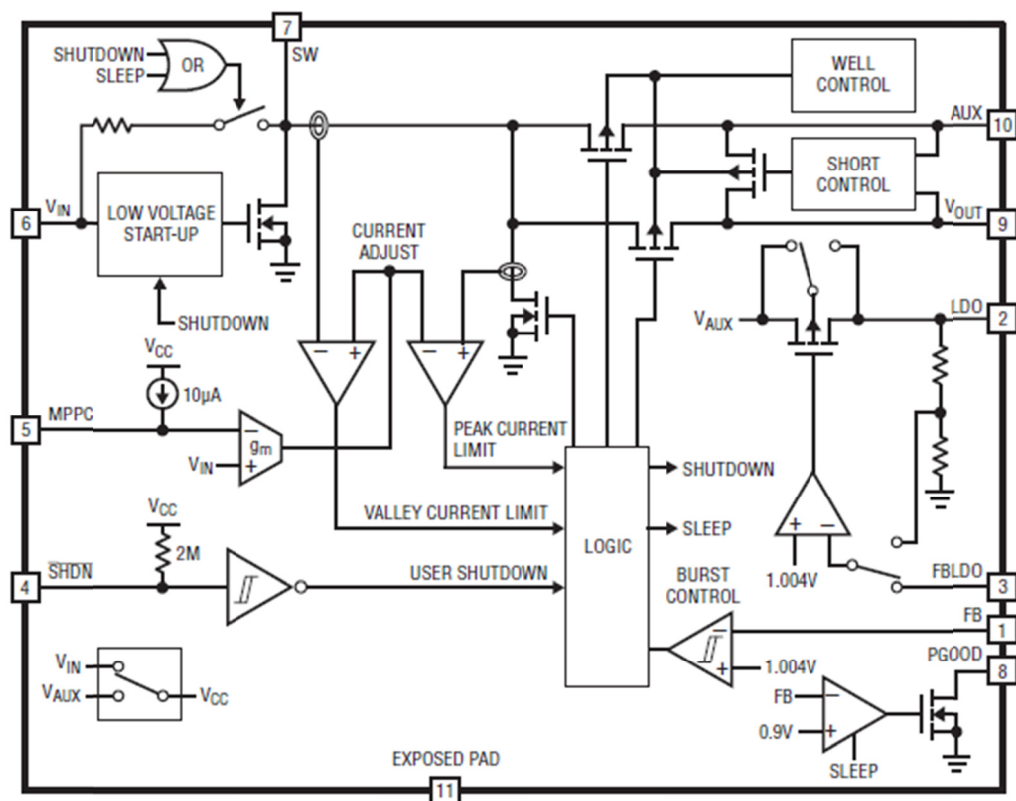
Je schopný začít pracovat od 0,25 V, což je důležitý parametr, kvůli připojeným solárním panelům, které nejsou plně osvětleny. Jedná se o DC/DC měnič, jehož hodnota je na výstupu rovna 3,3 V. Umožňuje generovat obvyklý napájecí rozsah (1,8 V – 5 V), který je většinou vyžadovaný v aplikacích ve spojení s různě náročnými fotovoltaiickými zdroji. Pomocí obvodu LTC3105 se vyřeší potřeby nezávislých uzlů dálkových čidel, systému sběru dat a dalších aplikací, které vyžadují nezávislost v rozvodové síti a minimální údržbu. Čip je schopen pracovat z jednoho solárního článku a zajistit přitom optimální energetické poměry. Můžeme řešit přímé napájení připojených obvodů, ale také nabíjení akumulčních prvků, díky kterým i při nedostatečném osvětlení nebo úplné tmy pokryjeme spotřebu. [13]



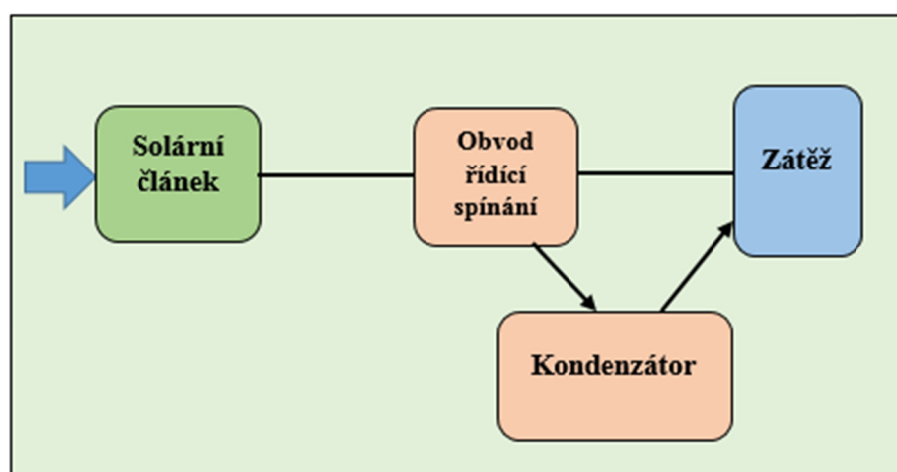
Obr. 13: Čip LTC3105 pohled z boku. [13]

5.1.1. Blokové schéma čipu LTC3105

V následujícím obrázku je zobrazeno blokové schéma struktury vnitřní části čipu. Jedná se zde o ukládání energie způsobem přímé konverze, není zde obvod, který řídí nabíjení kondenzátoru. Kondenzátor je nabíjen u výstupu z obvodu.



Obr. 14: Blokové schéma čipu LTC3105. [13]



Obr. 15: Blokové schéma realizace měření.

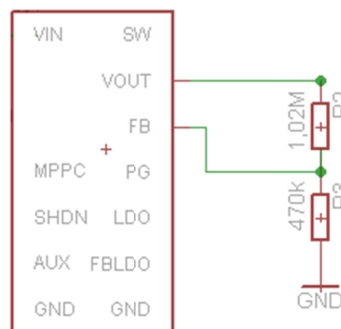
Z blokového schéma realizace měření jde vidět, že načerpaná energie z vnějšího prostředí vstupuje přes solární článek do části, která je označována jako START-UP, neboli do obvodu řídicí spínání.

Z něj energie postupuje do kondenzátoru, kde je uskládována. Z kondenzátoru energie proudí do zátěže, kde je napětí o hodnotě 3,3 V.

5.1.2. Použité vzorce

Pro zlepšení a upřesnění výstupního napětí, bylo potřeba výpočtu odporového děliče, který je umístěný mezi V_{out} a FB pinem. Vstupní kondenzátor o velikosti 22 pF se stará o snížení výstupního zvlnění. Rovnice pro výpočet V_{out} je:

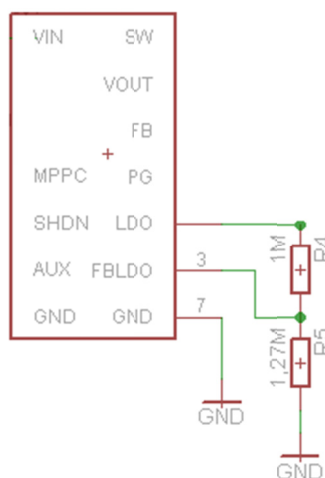
$$V_{out} = 1,004 V \times \left(\frac{R_2}{R_1} + 1 \right) \quad (5.1)$$



Obr. 16: Odporový dělič pro výpočet V_{out} .

Dále musíme vypočítat napětí na pinu LDO, který se stará o zpětnou vazbu konfigurace. Kondenzátor mezi pinem LDO a zemí musí mít hodnotu 4,7 μ F, nebo větší. Rovnice pro výpočet hodnoty napětí na pinu LDO je:

$$V_{LDO} = 1,004 V \times \left(\frac{R_4}{R_5} + 1 \right) \quad (5.2)$$

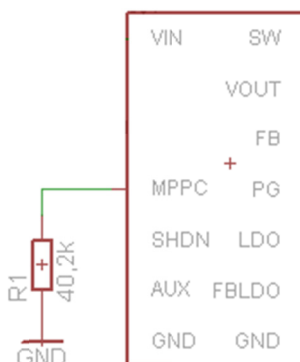


Obr. 17: Odporový dělič pro výpočet V_{LDO} .

Pin FBLDO může být připojen přímo na zem. V tomto stavu je pin na výstupu nastaven na 2,2 V.

Pin MPPC je nejžádanější a nejdůležitější. Řídí cívku pro udržení proudu na vstupu. Napětí na MPPC je dáno rovnicí:

$$V_{MPPC} = 10\mu A \times R_{MPPC} \quad (5.3)$$



Obr. 18: Odpor pro výpočet V_{MPPC} .

5.2. Čip BQ25570

Druhým testovaným čipem je čip s označením BQ25570. Je schopný začít pracovat od 0,33V, na výstupu je hodnota napětí 2,25 V. Jeho úkolem je s maximální účinností zacházet s mikro až miliwattovými výkony, které jsou získané z okolního prostředí, tepelných či mechanických zdrojů energie. Čip BQ25570 při své práci vytváří minimální úrovně klidových proudů, tím umožňují v případě sítí bezdrátových čidel, mobilního příslušenství, běžně nositelných zdravotnických zařízení, monitorovacích systémů a dalších aplikací s omezeným přístupem k napájení ze sítě jejich provoz bez baterií.

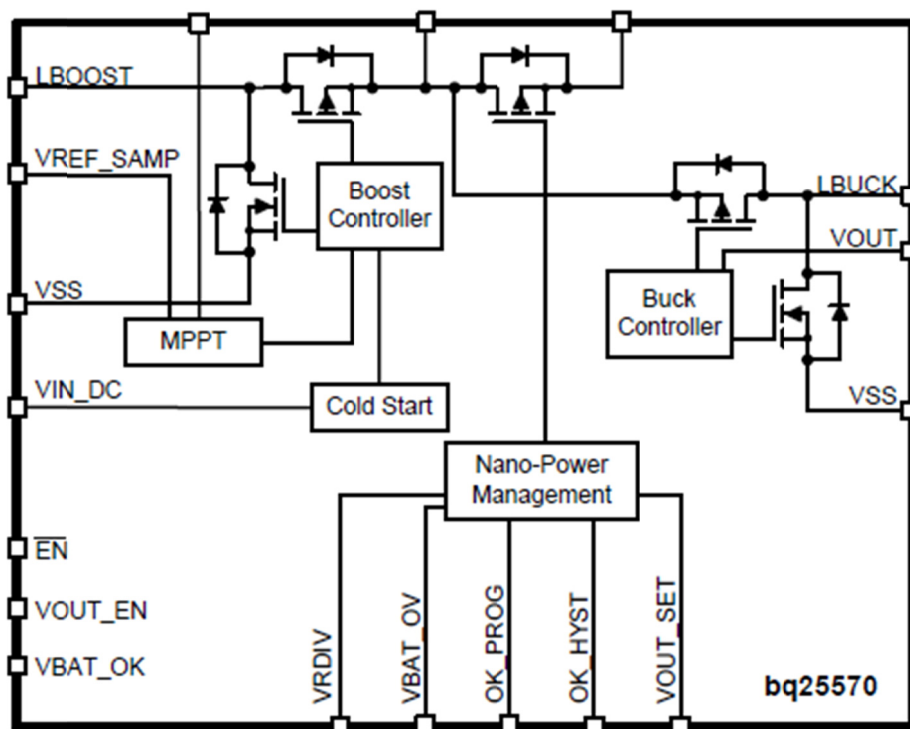
Účinnost čipu je nad 90%, tím pádem může bez problému pracovat i za minimálního osvětlení. V tomto integrovaném obvodu má významnou funkci pin MPPT (Maximum Power Point Traching) ve spojitosti se solárními články, které jsou připojeny. Z hlediska ukládání energie oceníme funkci dobíjecích Li-Ion článků, tenkovrstvých baterií, superkapacitorů a také klasických kondenzátorů. Ve speciálním režimu, může také dlouhodobě odebírat méně než 5nA. [14]



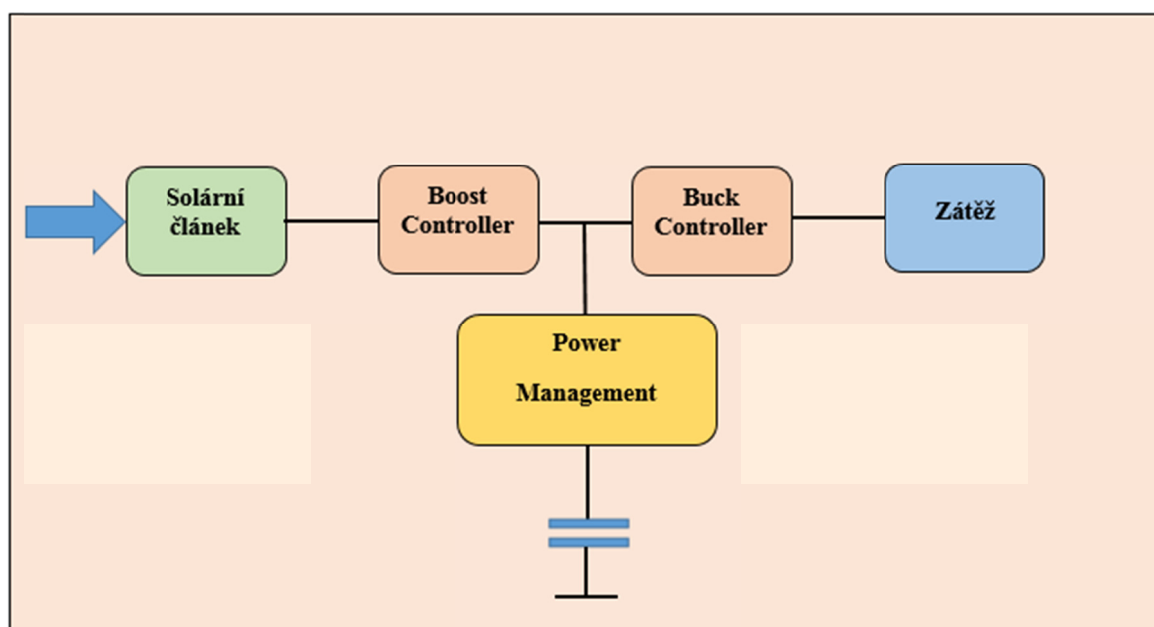
Obr. 19: Čip BQ25570. [14]

5.2.1. Blokové schéma čipu BQ25570

Na obrázku 20 je zobrazeno blokové schéma vnitřní části čipu. K ukládání energie dochází způsobem akumulace v části Power Management, neboli části, která řídí nabíjení kondenzátoru.



Obr. 20: Blokové schéma čipu BQ25570. [15]



Obr. 21: Blokové schéma realizace měření.

Podle blokového schéma můžeme vidět, že energie načerpaná z vnitřního prostředí, pomocí solárního článku je z něj díky vysoké impedanci převedena do Boost Controller, což je zvyšující spínačka. Její funkcí je regulace napájecího napětí V_{IN_DC} , aby nedocházelo ke zkratům ve zdroji. Monitoruje výstupní napětí (VSTOR), v případě kdy odpor dosáhne naprogramovatelné úrovně, tak se zastaví. Je založen na spínacím regulátoru, který maximalizuje účinnost a zároveň minimalizuje Start-up a provozní výkon.

Získaná energie se ukládá do Power Management, který řídí nabíjení a vybíjení kondenzátoru. Vnitřní obvod je aktivní jen určitou dobu a pak se vypne. V kondenzátoru o velikosti 0,1F je energie shromažďována, ten je po nějaký čas schopný řídit obvod.

V bloku Buck Controller, což je snižující spínačka se upravuje napětí na výstupu, je napájen z pinu VSTOR.

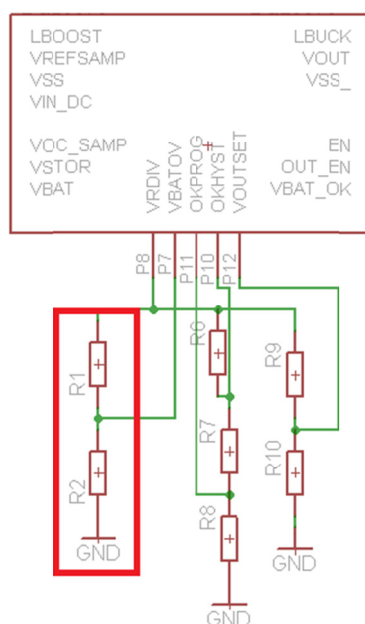
5.2.2. Použité vzorce

I v případě čipu BQ25570 bylo pro zlepšení funkce nutné propočtení několika vzorců.

Vzorec na ochranu přepětí baterie se používá k zabránění nadměrnému nabíjení napětí. Prahová hodnota je nastavena pomocí externích odporů. Jedná se také o hodnotu napětí, kdy při dostatečném vstupním výkonu bude spínačka regulovat VSTOR a VBAT.

Při rostoucím napětí je hranice $VBAT_OV$ dána rovnicí:

$$VBAT_{OV} = \frac{3}{2} VBIAS \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) \quad (5.4)$$



Obr. 22: Odporů pro výpočet $VBAT_OV$.

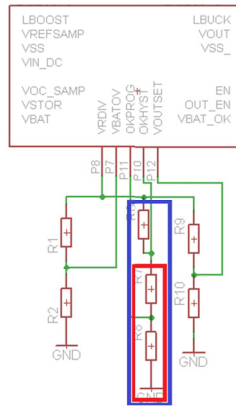
Doporučuje se, aby součet odporů byl nižší než 13MΩ.

Dalším vzorcem se indikuje, jestli napětí na VSTOR je na přijatelné úrovni. Při klesání napětí z nastavené prahové hodnoty. V tomto případě používáme vzorec:

$$VBAT_{OK_{PROG}} = VBIAS \left(1 + \frac{R_7}{R_8} \right) \quad (5.5)$$

Když napětí roste, hodnota se nastaví podle vzorce:

$$VBAT_{OK_{HYST}} = VBIAS \left(1 + \frac{R_7 + R_6}{R_8} \right) \quad (5.6)$$



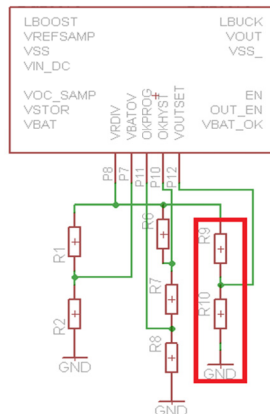
Obr. 23: Odporů pro výpočet VBAT_OK_PROG a VBAT_OK_HYST.

Součet odporů ($R_6 + R_7 + R_8$), by měl být menší než 13MΩ. Hodnota VBAT_OK_PROG musí být větší, nebo rovna hodnotě UV.

Posledním použitým vzorcem, byl vzorec pro regulaci výstupního napětí V_{OUT} :

$$V_{OUT} = VBIAS \left(\frac{R_9 + R_{10}}{R_{10}} \right) \quad (5.7)$$

Hodnota VBIAS se rovna 1,21 V. Opět součet odporů ($R_9 + R_{10}$) se doporučuje menší než 13MΩ. Při vyšším součtu, může docházet ke špatným hodnotám na výstupu.



Obr. 24: Odporů pro výpočet V_{out} .

5.3. Porovnání čipů

Čip od společnosti Linear Technology LTC3105 je schopen začít pracovat od 0,25 V, čip od společnosti Texas Instruments BQ25570 je schopen začít pracovat od 0,33 V. Jeho účinnosti je přes 90%, účinnost čipu LTC3105 je přes 85%. V obou případech se jedná o integrované obvody. Jsou to DC/DC měniče s vysokým výstupním výkonem. Vstupní napětí u obvodu LTC3105 se může pohybovat v rozsahu od 0,2 V do 5 V, bez použití speciálního transformátoru. U obvodu BQ25570 se vstupní napětí pohybuje od 0,1 V do 4 V.

Uvnitř v obvodu LTC3105 je synchronní spínavý regulátor, hodnota jeho výstupního proudu se může vyšplhat až na 400mA, maximalizující účinnost převodu. Vnitřní část obvodu se dá pomocí bloků rozdělit na dvě části. První část je označována jako START-UP, což je obvod, který řídí spínání. V druhé části je kondenzátor, ve kterém je energie uložena, ten se podle potřeby vybíjí a nabíjí.

Vnitřní část obvodu BQ25570 se dá rozdělit do tří bloků. První blok je Boost Controller, neboli zvyšující spínačka reguluje napájecí napětí, aby nedocházelo zkratům ve zdroji. Dalším blokem je Power Management, ten řídí nabíjení a vybíjení kondenzátoru. Ve třetím bloku, který je označován jako Buck Controller, neboli snižující spínačka, pomocí kterého se upravuje napětí na výstupu.

Čip BQ25570 má výhodu v tom, že má navíc blok Power Management, který řídí kondenzátor, jeho nabíjení a vybíjení a v tom je lepší oproti čipu LTC3105. Oba čipy se využívají k získání energie. Jsou to solární nabíječky s vysokou účinností.

6. Realizace

Realizace bakalářské práce byla nejprve provedena na čipu od společnosti Linear Technology LTC3105. Nejprve bylo vytvořeno schéma obvodu v programu Eagle, po-té byla vytvořena deska plošného spoje (dále DPS). Po vytvoření DPS následovalo její osazení součástkami. Stejný postup realizace proběhl i u čipu společnosti Texas Instruments BQ25570.

V následujících podkapitolách se zaměřím na výpočty vzorců z minulé kapitoly, dále zde budou zaznamenána vytvořená schémata obvodů.

6.1. Výpočty čipů

V minulé kapitole byly uvedeny u každého čipu obecné vzorce, které jsou nutné k nastavení správných hodnot napětí. Následně budou do vzorců dosazeny reálné hodnoty odporů, které mám i na reálných deskách.

6.1.1. Výpočty použité při realizaci obvodu LTC3105

Výpočet hodnoty výstupního napětí, pomocí vzorce se upřesní výstupní napětí po připojení daných hodnot odporů.

$$V_{OUT} = 1,004 \text{ V} \times \left(\frac{1,02M}{470k} + 1 \right) \quad (6.1)$$

$$V_{OUT} = 3,18 \text{ V} \quad (6.2)$$

Výpočet napětí na pinu LDO, který se stará o zpětnou vazbu konfigurace.

$$V_{LDO} = 1,004 \text{ V} \times \left(\frac{1M}{1,2M} + 1 \right) \quad (6.3)$$

$$V_{LDO} = 1,84 \text{ V} \quad (6.4)$$

Výpočet na funkčně nejdůležitějším pinu MPPC.

$$V_{MPPC} = 10\mu A \times 30k \quad (6.5)$$

$$V_{MPPC} = 300 \text{ mV} \quad (6.6)$$

6.1.2. Výpočty použité při realizaci obvodu BQ25570

Výpočet hodnoty napětí V_{BAT_OV} .

$$V_{BAT_{OV}} = \frac{3}{2} \times 1,21 \times \left(1 + \frac{3M}{2M}\right) \quad (6.7)$$

$$V_{BAT_{OV}} = 4,54 \text{ V} \quad (6.8)$$

Doporučuje se, aby byl součet odporů menší než $13M\Omega$.

Výpočet hodnoty napětí na pinu V_{STOR} , určení jestli je napětí na přijatelné hodnotě.

$$V_{BAT_{OK_{PROG}}} = 1,21 \times \left(1 + \frac{6,8M}{5,6M}\right) \quad (6.9)$$

$$V_{BAT_{OK_{PROG}}} = 2,67 \text{ V} \quad (6.10)$$

Výpočet nastavení hodnoty napětí, při vzrůstu napětí.

$$V_{BAT_{OK_{HYST}}} = 1,21 \times \left(1 + \frac{6,8M+2M}{5,36M}\right) \quad (6.11)$$

$$V_{BAT_{OK_{HYST}}} = 3,19 \text{ V} \quad (6.12)$$

Výpočet regulace výstupního napětí V_{OUT} .

$$V_{OUT} = 1,21 \times \left(\frac{2,7M+3,3M}{3,3M}\right) \quad (6.13)$$

$$V_{OUT} = 2,2 \text{ V} \quad (6.14)$$

V datasheetu k čipu BQ25570 byl přiložen odkaz na tabulky vytvořené v programu Microsoft Excel. Díky nim jsem snadněji vybrala hodnoty odporů, bez složitých propočtů. Pomocné tabulky pro snadnější výběr hodnot odporů jsou přiloženy v příloze.

6.1.3. Výpočet energie kondenzátoru

Vzorec a výpočet energie kondenzátoru. Napětí na kondenzátoru má maximální hodnotu 5,5 V. Potřebuje do něj uložit 0,2 Ws.

$$E = \frac{1}{2} \times C \times U^2 \quad (6.15)$$

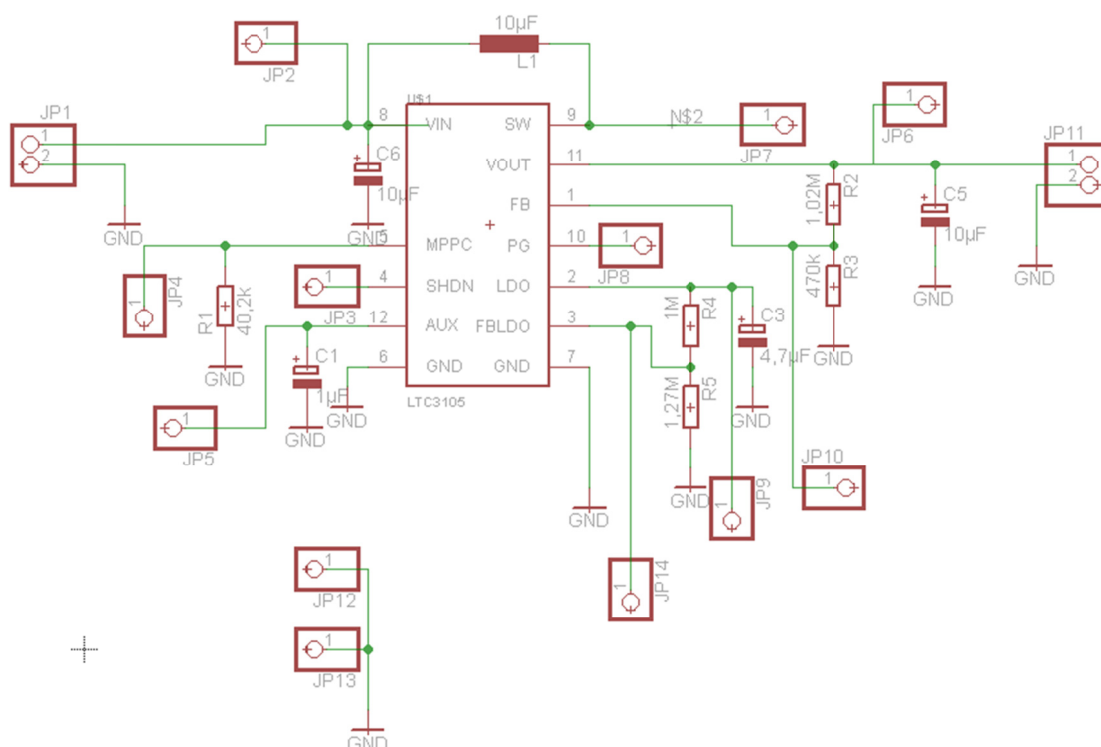
$$0,2 = \frac{1}{2} \times C \times 25 \quad (6.16)$$

$$C = 16mF \quad (6.17)$$

6.2. Měřicí obvod

Realizace měřicích obvodů probíhala v programu Eagle 6.5. Pro oba čipy se vytvořilo schéma, které se po schválení realizovalo na DPS, buď metodou leptání, nebo frézování. Schémata jsou použita z datasheetu daných čipů, před realizací obvodu byly provedeny úpravy v hodnotách odporů. V následujících podkapitolách budou znázorněna schémata měřicích obvodů i s hodnotami.

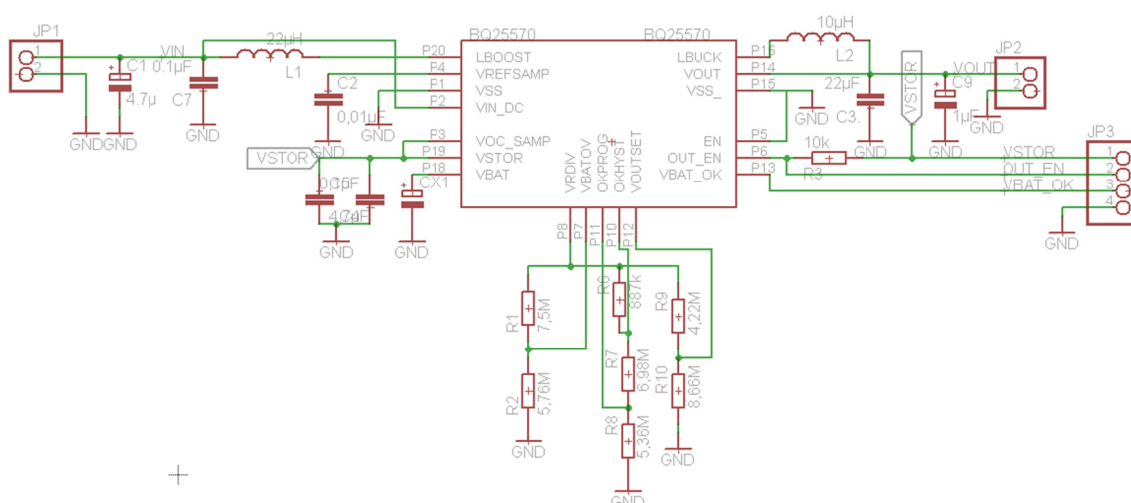
6.2.1. Měřicí obvod LTC3105



Obr. 25: Vytvořený měřicí obvod čipu LTC3105.

Obvod je vytvořen v programu Eagle 6.5, za pomoci datasheetu, který je volně přístupný k čipu. Samotný čip v knihovně součástek nebyl, musela jsem si jej vytvořit sama. Čip má 12 pinů, v příloze je uvedena funkce každého pinu. Obvod je utvořen z pěti odporů, čtyř kondenzátorů a jedné cívky.

6.2.2. Měřicí obvod BQ25570

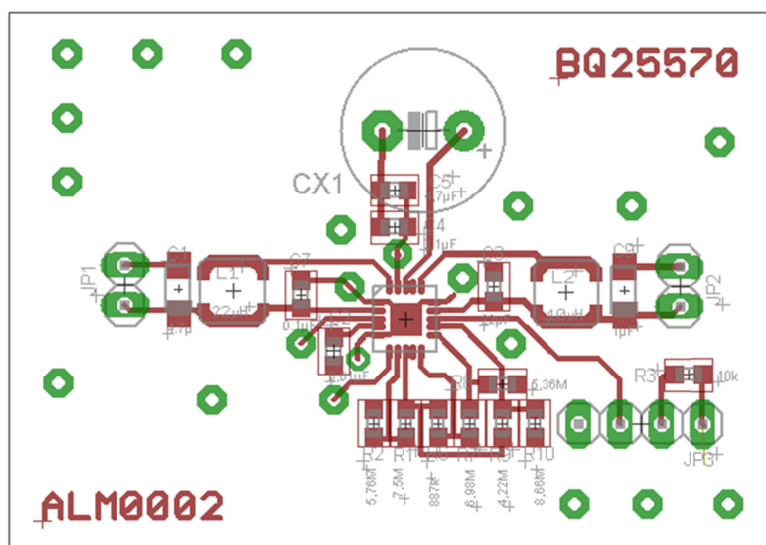


Obr. 26: Vytvořený měřicí obvod čipu BQ25570.

I v případě čipu BQ25570 proběhla realizace v prostředí programu Eagle 6.5, opět za pomoci datasheetu, který byl volně přístupný k čipu. Čip jsem si také vytvořila sama, protože v knihovně součástek nebyl. Čip má 20 pinů, jejich funkce jsou popsány v příloze. Obvod se skládá z osmi odporů, sedmi kondenzátorů, dvěma cívkami a jedním superkapacitorem.

6.3. Realizace desky plošných spojů

Po realizaci schémat v prostředí programu Eagle 6,5 následovalo rozmístění součástek na desce pomocí funkce board. U čipu LTC3105 bylo provedeno vyvolání desky a u čipu BQ25570 bylo provedeno vyfrézování desky. Vyvolání i vyfrézování desek bylo provedeno v laboratoři CPIT RC112. Čip se v obou případech nachází uprostřed celé desky. U čipu LTC3105 se konektory pro vstup a výstup nachází v pravé dolní části desky. U čipu BQ25570 se vstup nachází v levé prostřední části a výstup v pravé prostřední části.



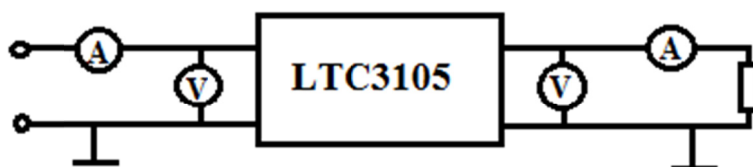
Obr. 27: Strana součástek DPS u čipu BQ25570.

7. Měření

V další části bakalářské práce byla provedena řada měření. Po připojení součástek na DPS bylo provedeno měření voltampérové charakteristiky, dále charakteristika nabíjení a vybíjení superkapacitoru. Jako poslední bylo provedeno měření výkonové charakteristiky solárních článků.

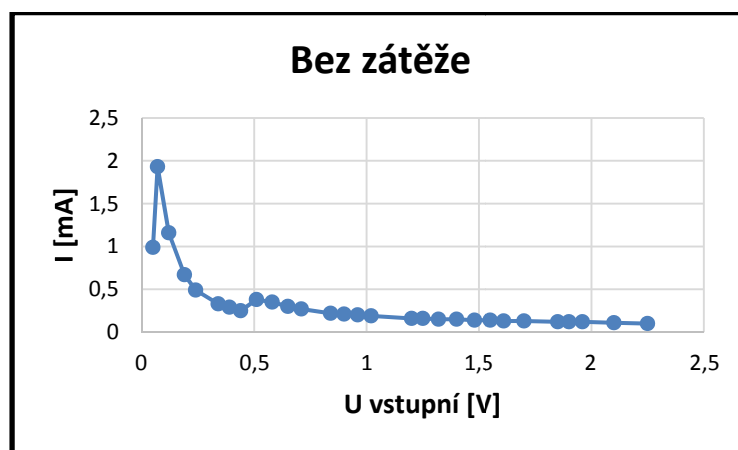
7.1. Měření LTC3105

Měření s čipem LTC 3105 bylo provedeno nejprve bez zátěže, pak se zátěží 55Ω a nakonec se zátěží 176Ω . Obvod byl napojen na tvrdý zdroj, kde se nastavovalo napětí. Pomocí Ampérmetru a voltmetru jsem zjišťovala proud, vstupní a výstupní napětí a zaznamenávala vše do tabulky a následně v programu Microsoft Excel udělala grafy závislostí.



Obr. 28: Blokové schéma měření s čipem LTC3105.

V následujícím grafu je znázorněna závislost vstupního napětí na vstupním proudu bez zátěže. Při rozjetí obvodu vystoupá hodnota proudu ke 2 mA.



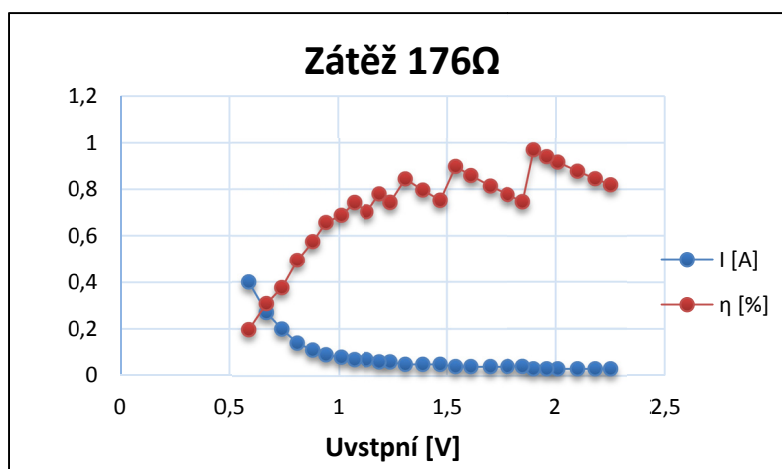
Graf 1: Měření obvodu s čipem LTC3105 bez zátěže.

V následujícím měření byla k obvodu připojena zátěž o hodnotě 176Ω. Změřené hodnoty byly vyneseny do grafů a byla vytvořena závislost vstupního proudu na vstupním napětí, to je zaznamenáno modrou křivkou. Červenou křivkou je zaznamenána závislost vstupního napětí na účinnosti obvodu. Účinnost obvodu se vypočítala podle vzorce:

$$\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} \quad (7.1)$$

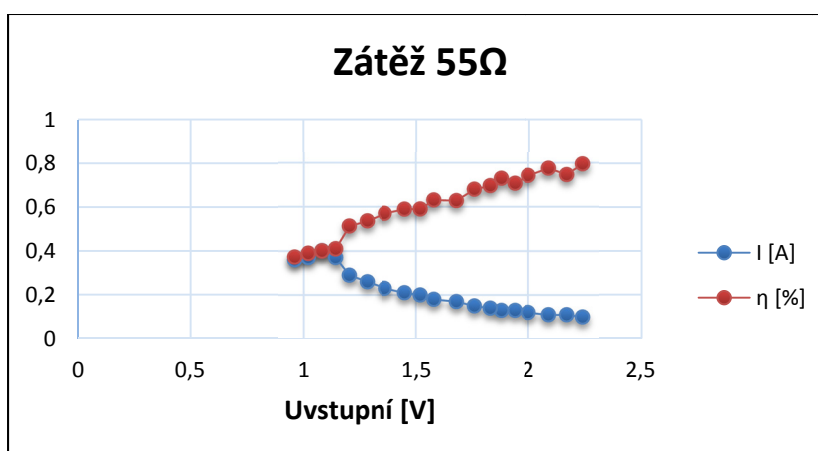
Kde: $P_{OUT} = U_{OUT} \times \frac{U_{OUT}}{R}$ (7.2)

$$P_{IN} = U_{IN} \times I \quad (7.3)$$



Graf 2: Měření obvodu s čipem LTC3105 se zátěží 176Ω.

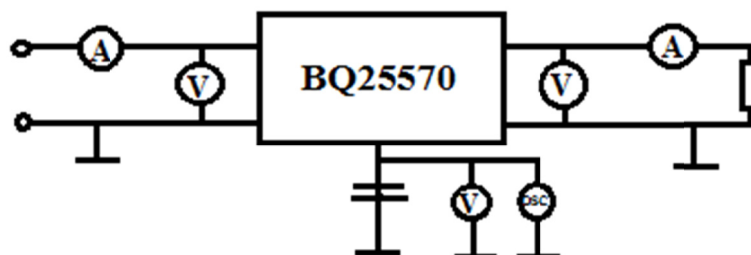
Stejný postup byl proveden i v následujícím měření, tentokrát se zátěží o hodnotě 55Ω. Modrá křivka značí závislost vstupního proudu na vstupním napětí. Červená značí závislost vstupního napětí na účinnosti obvodu. Ta je vypočítána podle vzorců 7.1, 7.2, 7.3.



Graf 3: Měření obvodu s čipem LTC3105 se zátěží 55Ω.

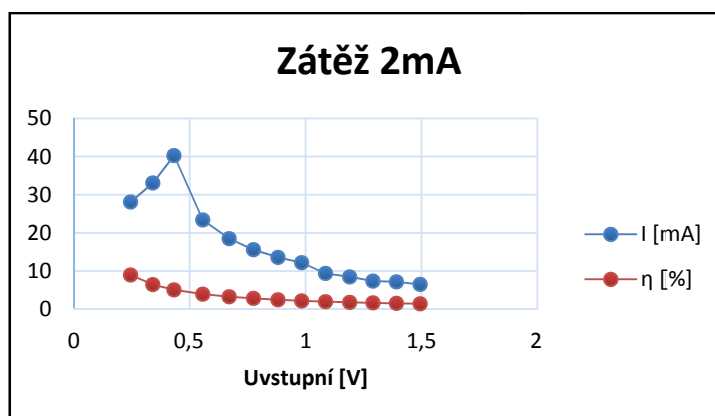
7.2. Měření BQ25570

Stejné měření bylo provedeno i u čipu BQ25570. Měření bylo realizováno s různými velikostmi zátěží 2mA, 5mA, 10mA, 15mA. Obvod byl napojen na tvrdý zdroj, kde se přesně nastavovala hodnota vstupního napětí. Měřením byla získána hodnota vstupního a výstupního proudu a napětí, po té se z nich vypočítal vstupní a výstupní výkon a účinnost. Všechny hodnoty byly zaznamenány do tabulek a následně v programu Microsoft Excel vytvořeny grafy závislostí.



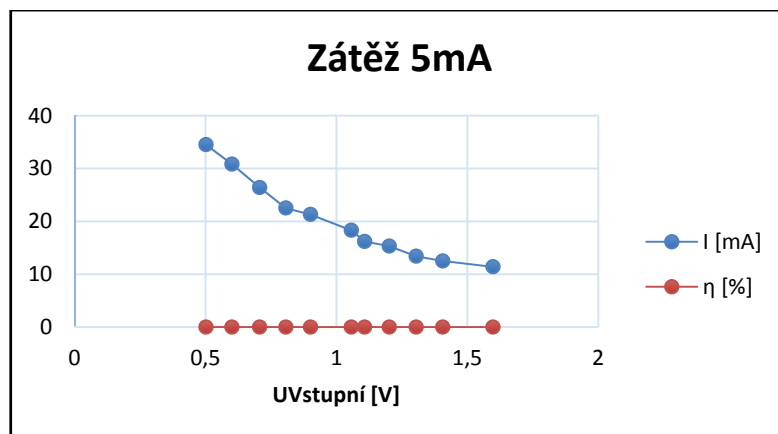
Obr. 29: Blokové schéma měření s čipem BQ25570.

K obvodu byla pomocí odporové dekády připojena zátěž 2mA. V grafu jsou zaznamenány křivky závislostí, kde modrá křivka značí závislost vstupního proudu na vstupním napětí. Červená křivka značí závislost vstupního napětí na účinnosti obvodu, která je spočítána podle vzorců 7.1, 7.2, 7.3.

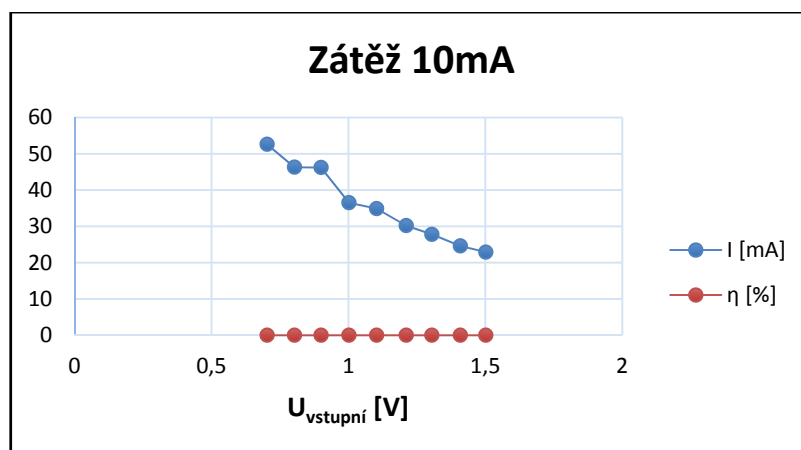


Graf 4: Měření obvodu s čipem BQ25570 se zátěží 2mA.

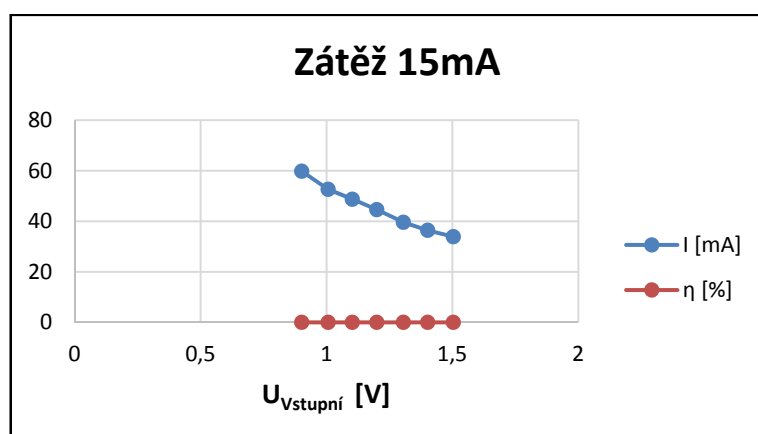
Následující grafy jsou s hodnotami zátěží 5mA, 10mA, 15mA. Vstupní napětí je zaznamenáno do hodnoty 1,5 V, s přibývající hodnotou zátěže začíná obvod pracovat později např. u zátěže 15mA měříme vstupní napětí až od hodnoty 0,9 V.



Graf 5: Měření obvodu s čipem BQ25570 se zátěží 5mA.

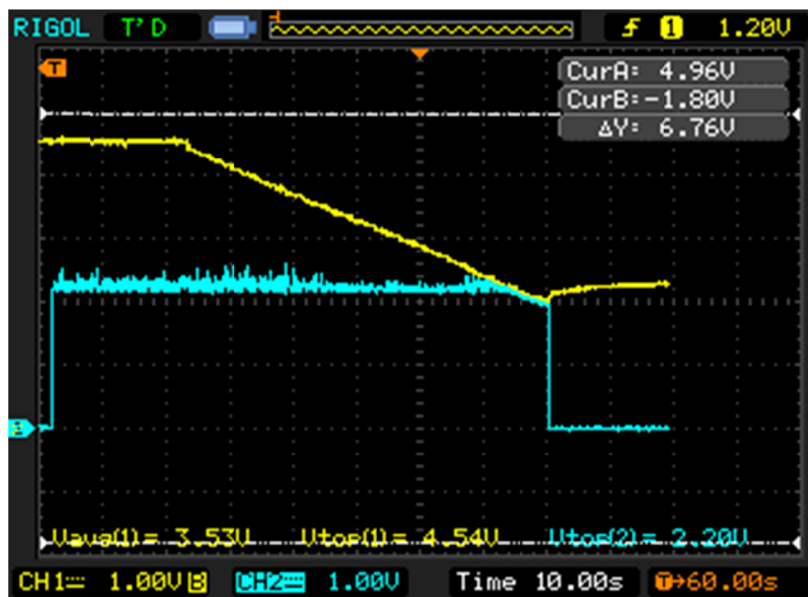


Graf 6: Měření obvodu s čipem BQ25570 se zátěží 10mA.



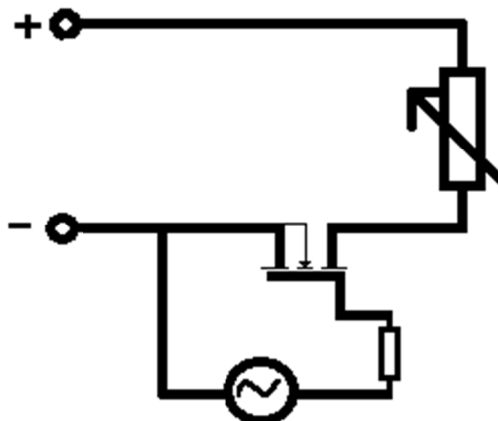
Graf 7: Měření obvodu s čipem BQ25570 se zátěží 15mA.

Na digitálním osciloskopu Rigol DS1042CD byl zaznamenán průběh vybíjení superkapacitoru. Žlutá křivka značí postupné vybíjení superkapacitoru. Superkapacitor byl přes pevný zdroj plně nabit na 4,54 V. Po odpojení od zdroje můžeme vidět, jak křivka postupně klesá. Modrá křivka nám značí napětí obvodu na výstupu. Když napětí na kondenzátoru klesne na hodnotu výstupu, tak napětí na výstupu klesne a kondenzátor se postupně začíná nabíjet na hodnotu 4,54 V.



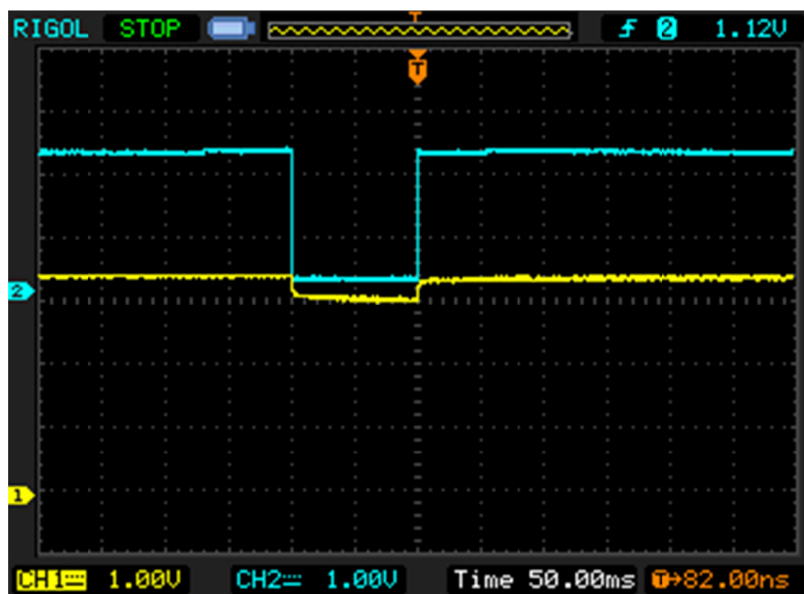
Obr. 30: Průběh vybíjení kondenzátoru.

V posledním měření obvodu BQ25570 byla vytvořena simulace spotřeby senzoru. Za tímto účelem bylo zapotřebí vytvořit periodický signál, který představuje část, kdy je senzor aktivní a kdy je v úsporném režimu. Na nepájivém poli byl zapojen tranzistor IRLZ34N. První nožička unipolárního tranzistoru nazývaná Gate se připojila k odporu o velikosti 1k. Druhá nožička Drain se připojila na odporovou dekádu a třetí Source se připojila na zem. Na generátoru signálu se nastavil pulsní signál. Zjednodušené schéma zapojení simulované zátěže je na obrázku 31.



Obr. 31: Zjednodušené schéma simulace zátěže.

Příklad průběhu měření, jak byl zaznamenán na osciloskopu a je zobrazen na obrázku 32. Modrá křivka zobrazuje průběh signálu ze záporného pólu zátěže. Žlutá křivka zobrazuje napětí na výstupu generátoru.



Obr. 32: Simulace spotřeby senzoru s obvodem BQ25570.

7.3. Měření solárního panelu

Jako poslední bylo provedeno proměření solárního článku. Měření bylo provedeno za slunného dne ve třech situacích. Nejprve byl solární článek změřen na přímém slunci, maximální výkon měl hodnotu 230 mW. Dále se měření provedlo na přímém slunci, ale se zastíněním panelů, výkon klesl na 47,5 mW. Poslední měření bylo provedeno ve stínu, tak výkon panelů klesl na 24,2 mW. V následující tabulce jsou zaznamenány hodnoty, které byly naměřeny pomocí solárního analyzáru a pod tabulkou jsou obrázky výkonových charakteristik na přímém slunci, při zastínění a ve stínu.

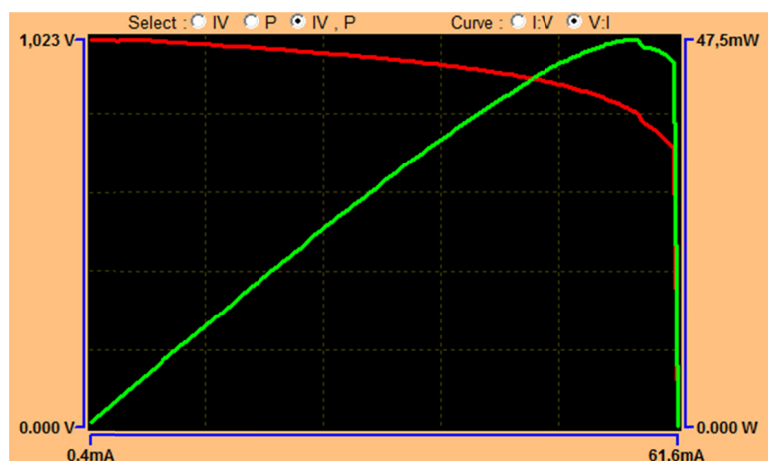
Tab. 9: Hodnoty naměřené solárním analyzérem.

	$U_{\text{vstupní}} [\text{V}]$	$I_{\text{Snort}} [\text{mA}]$	$P_{\text{max}} [\text{mW}]$	$V_{\text{maxp}} [\text{V}]$	$I_{\text{maxp}} [\text{mA}]$	FF
Světlo	1,089	301	230	0,842	273	0,7
Zastínění	1,023	62	47,5	0,84	57	0,755
Stín	1,033	27	24,2	0,89	27	0,882

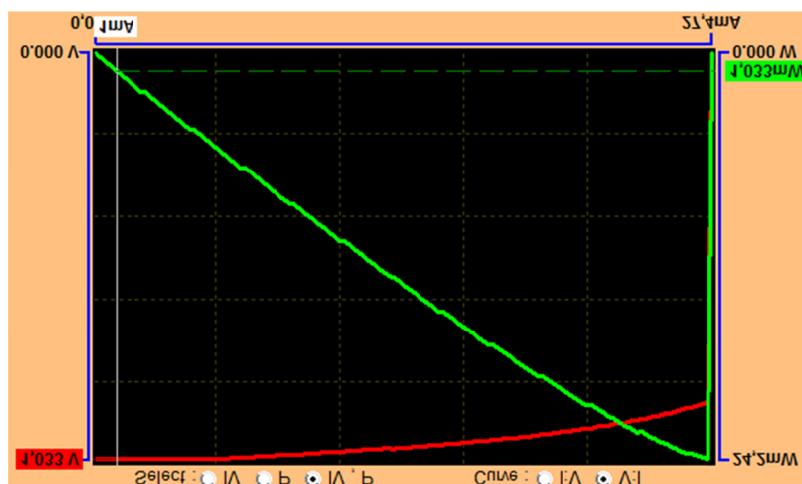


Obr. 33: Výkonová charakteristika solárního článku při přímém slunečním záření.

Zelená křivka označuje výkon solárního článku, červená značí vstupní proud přivedený do solárního článku. V den, kdy proběhlo měření, bylo kolem 20 °C a slunce svítilo intenzivně. Díky tomu vystoupala hodnota výkonu na přímém slunci až na 230 mW.



Obr. 34: Výkonová charakteristika solárního článku při zastínění.



Obr. 35: Výkonová charakteristika solárního článku ve stínu.

8. Závěr

Ve své bakalářské práci jsem se zabývala využitím alternativních zdrojů energie pro napájení mobilních senzorů. V průběhu tvorby bakalářské práce jsem se seznámila s problematikou senzorů, principem jejich činností a jejich rozdělením. Dále jsem se v teoretické části zabývala problematikou alternativních zdrojů energie, jejich druhů a způsoby ukládání energie. Před samotnou realizací jsem se musela seznámit také s procesem „Energy Harvestingu“, neboli „sklizení energie“. V posledním bodě teoretické části je nastíněna problematika bezdrátové technologie, která byla použita pro stanovení energetické náročnosti bezdrátových senzorů.

Úkolem bakalářské práce byla realizace generátoru pro bio-telemetrické senzory. K realizaci byly vybrány dva čipy, každý disponuje s minimálním vstupním napětím, proto dokáží začít pracovat i při malém osvětlení. První testovaný čip s označením LTC3105 od společnosti Linear technology, umožňuje začít pracovat od 0,25 V, což byl dostačující parametr k realizaci obvodu na DPS. Po osazení DPS bylo provedeno měření voltampérové charakteristiky obvodu. Nevýhodou bylo, že u obvodu dochází k přímé konverzi, kondenzátor je umístěn u výstupní části obvodu, nemá svůj obvod, který by řídil jeho nabíjení a vybíjení. Po opětovném prozkoumání trhu, byl vybrán druhý čip s označením BQ25570 od společnosti Texas Instruments, který byl schopen začít pracovat od 0,33 V. Čip měl oproti čipu LTC3105 výhodu v tom, že ve vnitřní struktuře čipu je přidán i obvod, který se staral o nabíjení a vybíjení kondenzátoru tzv. Power Management, jeho funkcí je akumulace „sklizené“ energie. Po osazení DPS byla provedena řada měření, ve kterých obvod uspěl, všechna provedená měření jsou zaznamenána v práci.

Výsledkem mé bakalářské práce jsou dva autonomní generátory pro „sklizení energie“, které jsou realizovány na desce plošného spoje. Obvody jsou schopny pracovat s vstupním napětím o hodnotě od 0,25 V, tím umožňují schopnost pracování i při nepříznivých světelných podmínkách. Ke vstupu do obvodu jsou připojeny dva solární články paralelně zapojené, které na přímém slunci mají hodnotu výkonu 230 mW. Získaná energie je ukládána do superkapacitoru o hodnotě 0,1 F.

Jádro této bakalářské práce bylo publikováno v rámci Workshopu NEIFEI. Generátory zrealizované v rámci této bakalářské práce mohou být rovněž využity k realizaci dalších bakalářských, nebo diplomových prací, které by měli zaměřením na bezbateriové bio-medicínské senzory, což je jedna z oblastí, kterou bych se chtěla dále zabývat v navazujícím magisterském studiu.

Literatura

- [1] *Generátorové senzory*. Přednáška Vysoké učení technické v Brně [online]. 2011 [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://www.umel.feec.vutbr.cz/bmms/prednasky/BMMS-01.pdf>.
- [2] SPIŠÁK, J. - IMRAMOVSKÝ, M. - PENHAKER, M., *Snímače a senzory v biomedicíně, učební texty*. První vydání. Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1607-4.
- [3] *Generátorové senzory*. Přednáška Vysoké učení technické v Brně [online]. 2011 [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://www.umel.feec.vutbr.cz/bmms/prednasky/BMMS-06.pdf>.
- [4] MASTNÝ, P. – DRÁPELA, J. – MIŠÁK, S. – MACHÁČEK, J. – PTÁČEK, M. – RADIL, L. – BARTOŠÍK, T. – PAVELKA, T., *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. První vydání. Praha, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2. [online] 2011 [cit. 2014-04-17]. Dostupné z: http://k315.feld.cvut.cz/CD_MPO/CVUT-2-OZE.pdf.
- [5] HOLUB, Petr. *Obnovitelné zdroje energie, decentralizace společnosti a komunitní život, diplomová práce*. Brno, Masarykova univerzita, Fakulta sociálních studií, 2007. 74 l., 11 l. příloh. Vedoucí diplomové práce Ing. Zbyněk Ulčák, Ph.D. [online]. 2007 2011 [cit. 2014-04-17]. Dostupné z: https://is.muni.cz/th/22769/fss_m_b1/diplomova_prace.pdf.
- [6] *Obnovitelné zdroje energie. Druhy obnovitelných zdrojů energie* [online]. 2008 [cit. 2014-04-17]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/obnovitelne-zdroje-energie.dic>.
- [7] *Energy harvesting for No-Power Embedded Systems*. Prezentace Texas Instruments [online]. 2008 [cit. 2014-04-18]. Dostupné z: http://focus.ti.com/graphics/mcu/ulp/energy_harvesting_embedded_systems_using_msp430.pdf.
- [8] ČERNÝ, M. – PENHAKER, M., *Biotelemetrie, učební texty*. První vydání. Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1605-0.
- [9] *Topologie Bluetooth*. Lou Frenzel [online]. 2012 [cit. 2014-04-18]. Obrázek ve formátu JPEG. Dostupné z: <http://electronicdesign.com/mobile/what-s-difference-between-bluetooth-low-energy-and-ant>.
- [10] *Topologie ZigBee. ENIC Telekomunikace* [online]. 2006 [cit. 2014-04-18]. Obrázek ve formátu JPEG. Dostupné z: <http://wapiti.telecom-lille1.eu/commun/ens/peda/options/ST/RIO/pub/exposes/exposesrio2006/Descharles-Waia/network.htm>.
- [11] *WiFi. Access Point* [online]. 2013 [cit. 2014-04-18]. Obrázek ve formátu JPEG. Dostupné z: http://airlink101.com/products/ap421w_diagram.php.
- [12] *WiFi. Ad Hoc* [online]. 2013 [cit. 2014-04-18]. Obrázek ve formátu JPEG. Dostupné z: http://2.bp.blogspot.com/_WuseUVdEdWo/UVPPiZKk7I/AAAAAAAAA1o/pG9Iaato4W4/s1600/AdhocWirelesssetup.jpg.

- [13] *Manuál + Datasheet k čipu LTC3105, Linear technology* [online]. 2010 [cit. 2014-04-24]. Dostupné z: <http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/3105fa.pdf>.
- [14] *Manuál + Datasheet k čipu BQ25570, Texas Instruments* [online]. 2013 [cit. 2014-04-24]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/bq25570.pdf>.
- [15] *Manuál + Datasheet k čipu BQ25570, Texas Instruments* [online]. 2013 [cit. 2014-04-24]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ug/sl000aa7/sl000aa7.pdf>.
- [16] Kolektiv autorů, *IV. Workshop NETFEI Automatizační, měřicí řídící technika v průmyslu a dopravě*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2014. ISBN 978-80-248-3391-0.

Seznam příloh

Příloha 1: Popis funkce pinů u čipu LTC3105 a BQ25570.

Příloha 2: Schéma obvodu LTC3105. (CD)

Příloha 3: DPS pro LTC3105.

Příloha 4: Fotografie realizovaného obvodu LTC3105.

Příloha 5: Schéma obvodu BQ25570. (CD)

Příloha 6: DPS pro BQ25570.

Příloha 7: Fotografie realizovaného obvodu BQ25570.

Příloha 8: Pomocná tabulka pro snadnější určení hodnot odporů. (CD)

Příloha 9: Tabulky a grafy naměřených hodnot obvodu LTC3105. (CD)

Příloha 10: Tabulky a grafy naměřených hodnot obvodu BQ25570. (CD)

Příloha 11: Datasheet obvodu LTC3105. (CD)

Příloha 12: Datasheet obvodu BQ35570. (CD)

Příloha 13: Fotografie měření voltampérové charakteristiky obvodu BQ25570. (CD)

Příloha 14: Fotografie měření průběhu vybíjení superkapacitoru. (CD)

Příloha 15: Fotografie měření simulace spotřeby senzoru. (CD)

Příloha 1: Popis funkce pinů u čipu LTC3105 a BQ25570.

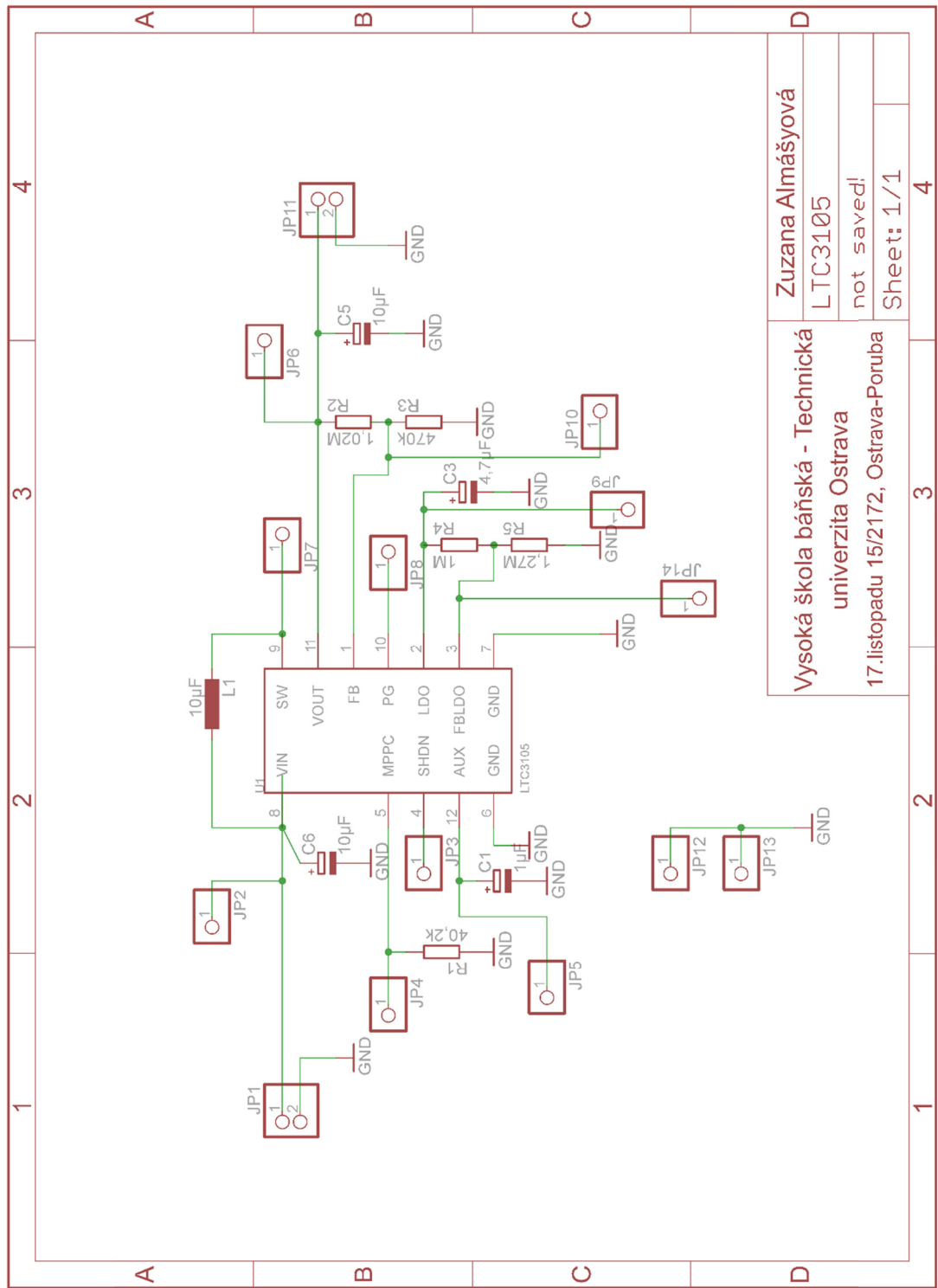
Tab. 1: Funkce pinů u čipu LTC3105.

Pin	Signál	Popis
1	FB	Step-up konvertor, připojit na V_{OUT} .
2	LDO	Výstup, mezi LDOA GND připojit kondenzátor 4,7 μF .
3	FBLDO	Zpětná vazba vstupu, připojeno k LDO.
4	SHDN	Logicky řízené vypnutí vstupu.
5	MPPC	Maximální bod kontroly.
6	V_{IN}	Vstup napájení.
7	SW	Mezi SW A V_{IN} připojit induktor.
8	PGOOD	Nevyužit.
9	V_{OUT}	Výstup.
10	AUX	Pomocné napětí, připojit kondenzátor 1 μF mezi AUX a GND.
11	GND	Zem
12	GND	Zem

Tab. 2: Funkce pinů u čipu BQ25570.

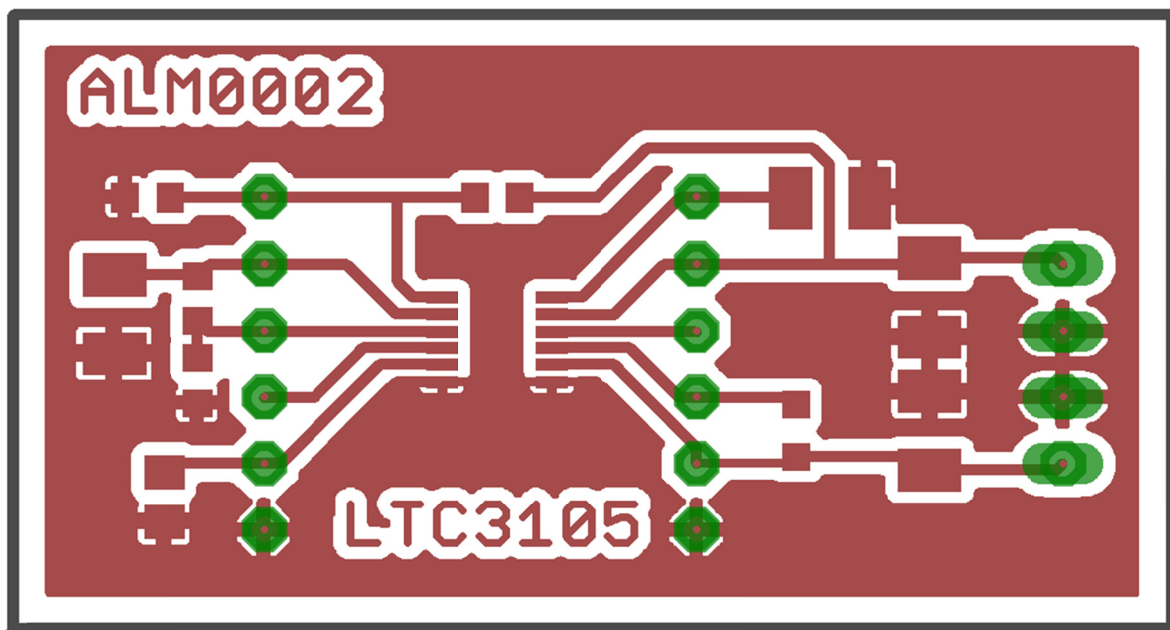
Pin	Signál	Popis
1	VSS	Vstup k Boost Controller.
2	VNI_DC	Vstup do obvodu, musíme připojit kondenzátor alespoň 4,7 μF .
3	VOC_SAMP	Připojit k pinu VSTOR.
4	VREF_SAMP	Udrží referenční napětí na nastavené hodnotě.
5	EN	Připojit k zemi.
6	VOUT_EN	Digitální programovatelný vstup.
7	VBAT_OV	Připojit mezi VRDIV a GND, upravuje přepětí na VBAT.
8	VRDIV	Připojit k odporovému děliči, určuje napětí na něm.
9	NC	Připojit k zemi.
10	OK_HYST	Nastavení prahové hodnoty hystereze VBAT_OK.
11	OK_PROG	Nastavení prahové hodnoty VBAT_OK.
12	VOUT_SET	Nastavení regulace V_{OUT} .
13	VBAT_OK	Digitální výstup pro baterii.
14	V_{OUT}	Výstup.
15	VSS	Výstup z Buck Controller.
16	LBUCK	Připojit indukci minimálně 4,7 mH, mezi LBUCK a V_{OUT} .
17	NC	Připojit k zemi.
18	VBAT	Vstup/výstup. Připojit úložný prvek alespoň 100nF.
19	VSTOR	Připojení pro výstup zvyšující spínačky.
20	LBOOST	Vstup/výstup. Připojit cívku 22 μH k zvyšující spínačce.

Příloha 2: Schéma obvodu LTC3105.

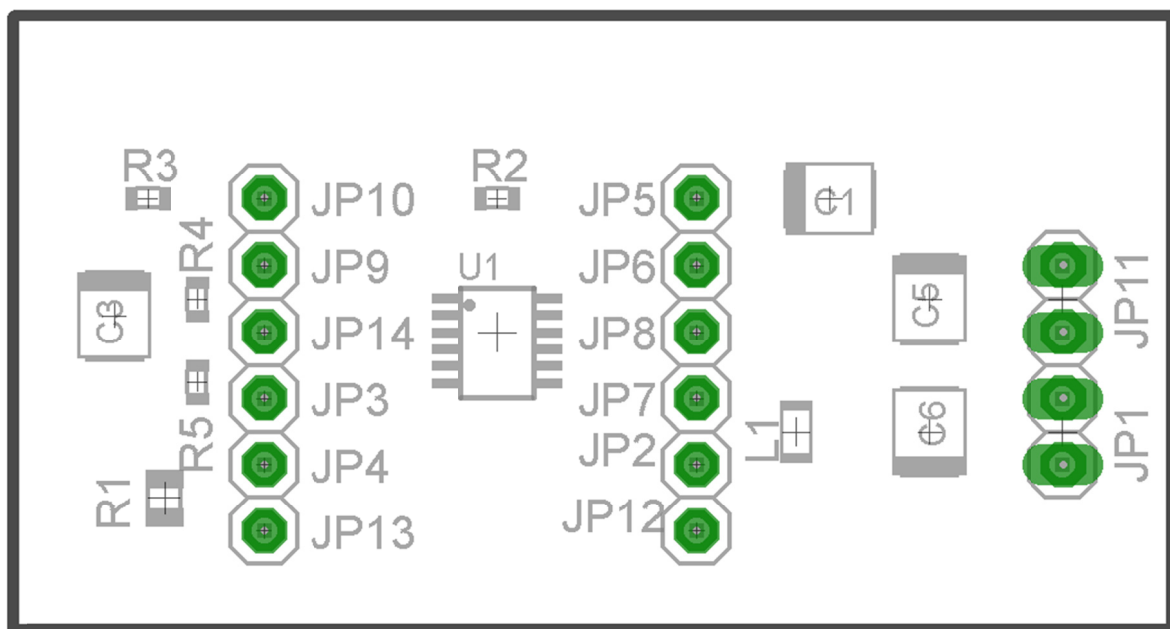


Obr. 1: Schéma obvodu LTC3105.

Příloha 3: DPS pro LTC3105

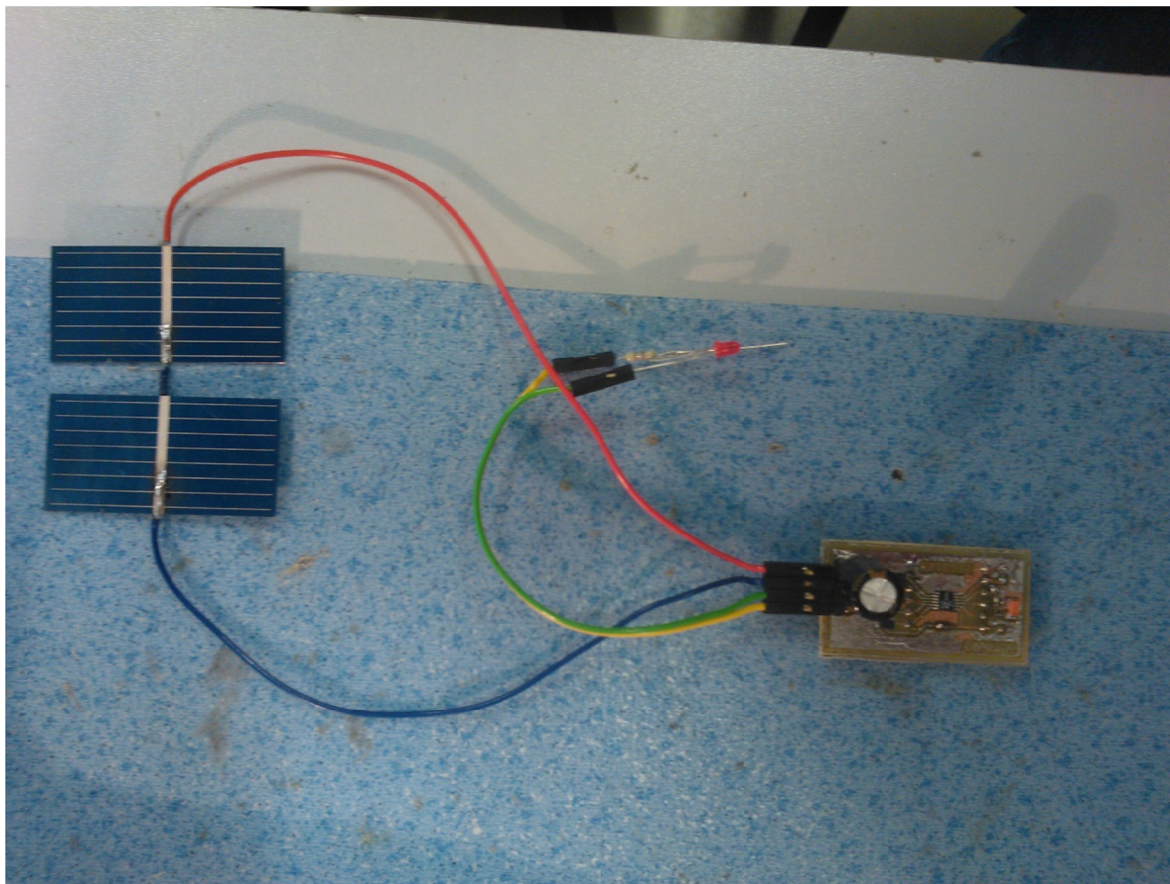


Obr. 2: Strana součástek DPS obvodu LTC3105.



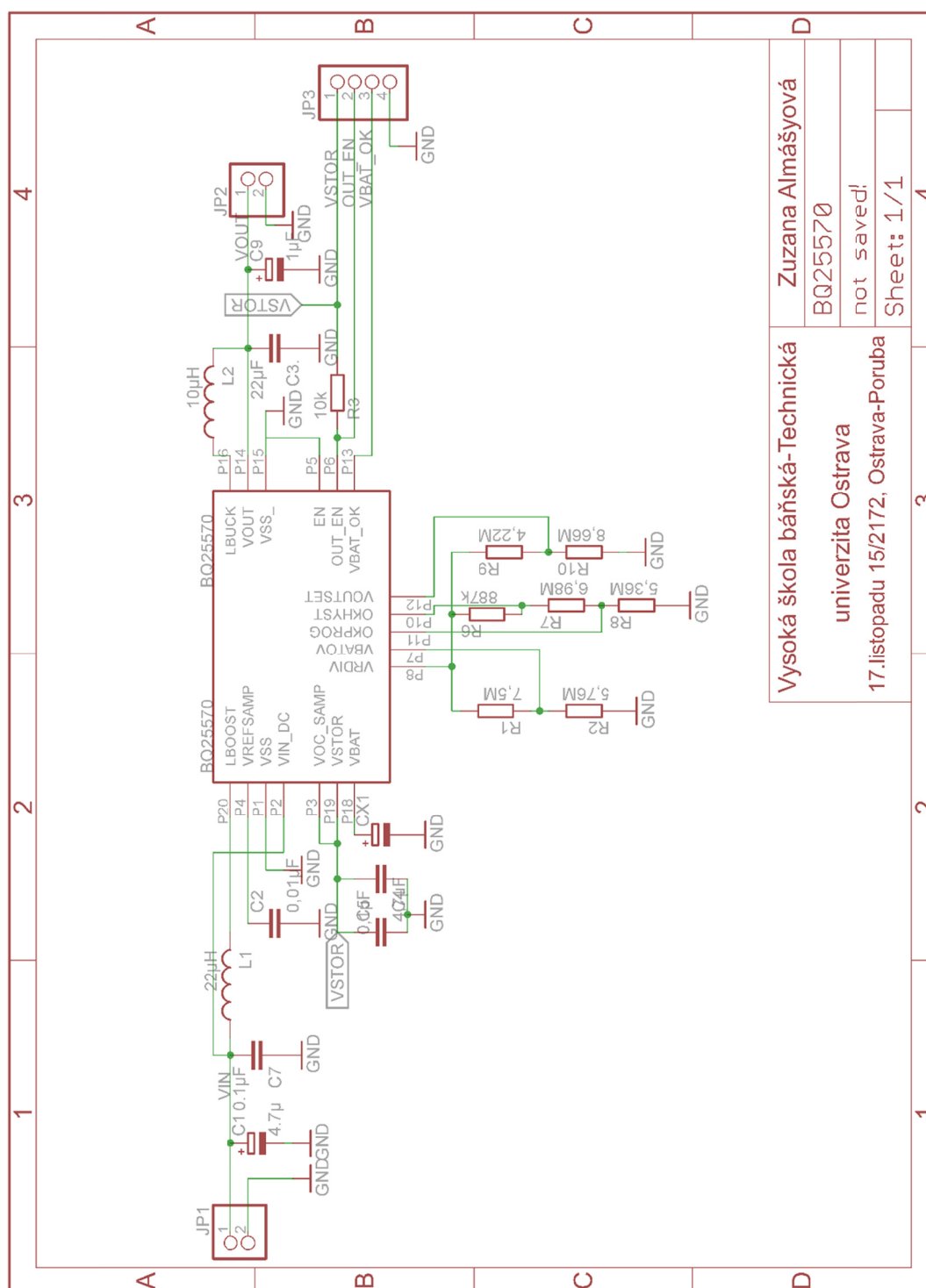
Obr. 3: Osazovací schéma obvodu LTC3105.

Příloha 4: Fotografie realizovaného obvodu LTC3105.



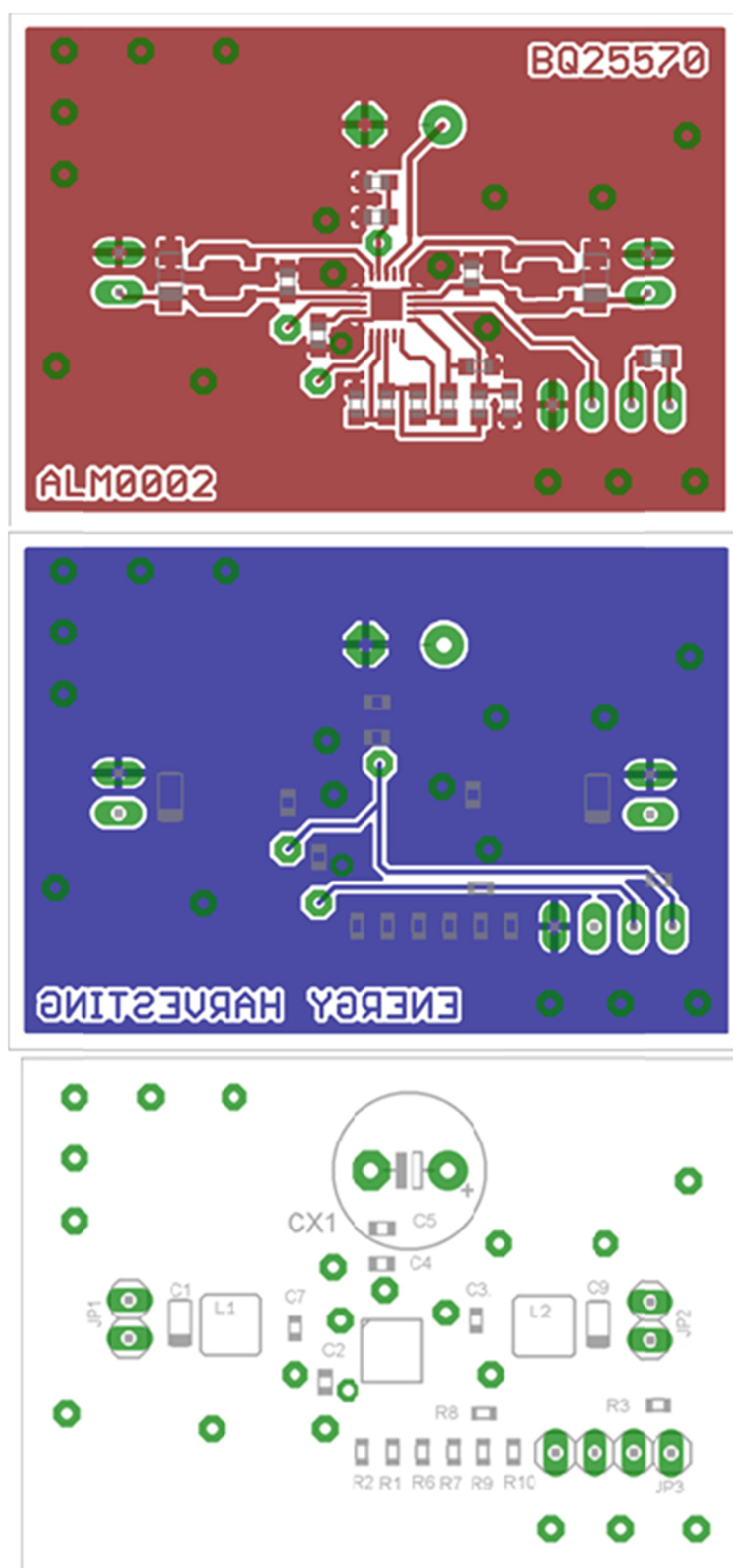
Obr. 4: Realizovaný obvod LTC3105.

Příloha 5: Schéma obvodu BQ25570.



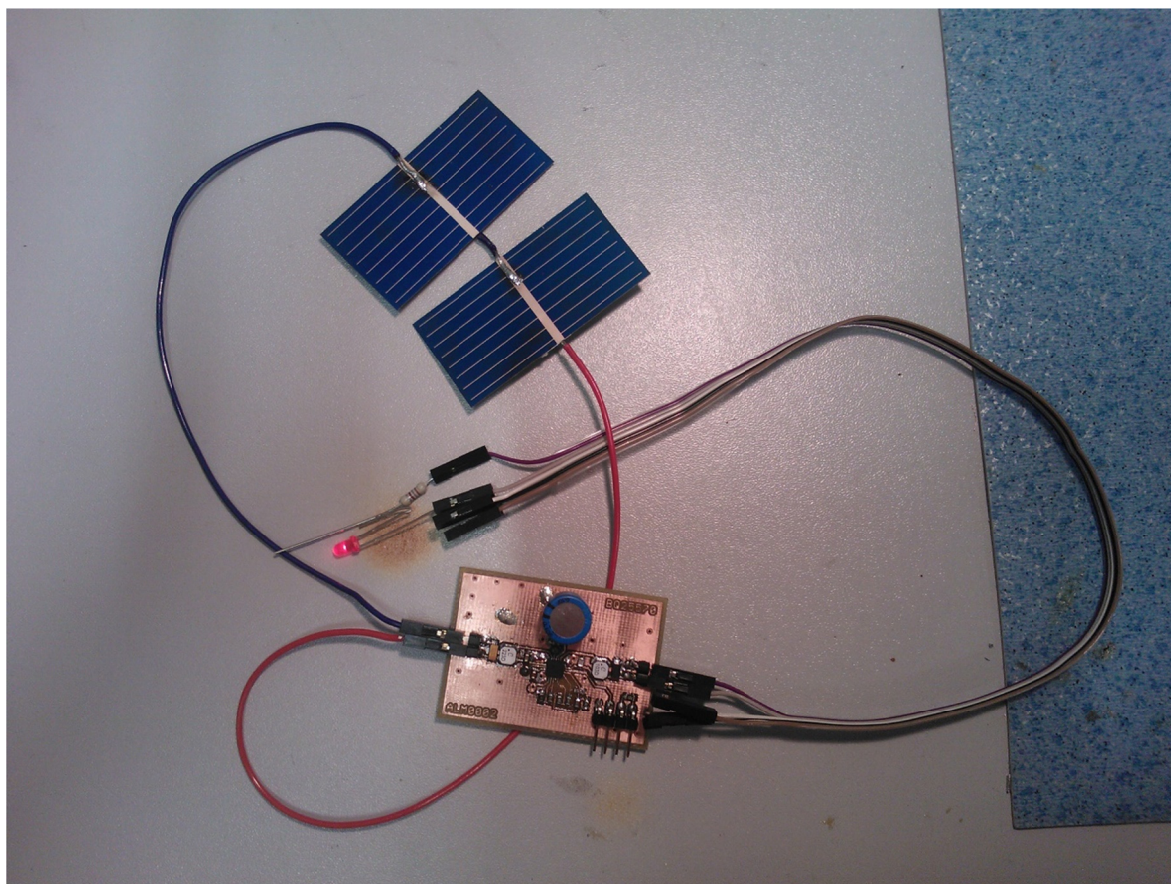
Obr. 5: Schéma obvodu BQ25570.

Příloha 6: DPS pro BQ25570.



Obr. 6: Strana součástek, strana spojů a osazovací schéma obvodu BQ25570.

Příloha 7: Fotografie realizovaného obvodu BQ25570.



Obr. 7: Realizovaný obvod BQ25570.